This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

3 6105 126 584 650

1901

From the Library of
PROFESSOR FRITZ WARMOLT WENT
Presented to the
Dudley Herbarium of Stanford University
September 20th, 1985

STANFORD UNIVERSITY
LIBRARIES

DR. F. W. WENT

DIE ENTSTEHUNG

DES

CHLOROPHYLLS

IN DER PFLANZE.

EINE PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG

VON

DR. JULIUS WIESNER

O. Ö. PROFESSOR DER ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE DER PFLANZEN AN DER WIENER UNIVERSITÄT.

WIEN 1877.

ALFRED HÖLDER

K. K. HOF- UND UNIVERSITÄTSBUCHHÄNDLER

ROTHENTHURMSTRASSE 15.

QK898
C5W5
1877

Seinem hochgeehrten Lehrer und Collegen

HERRN D^R. EDUARD FENZL

k. k. Regierungsrath, o. ö. Professor der Botanik an der Wiener Universität, wirkl. Mitglied der k. Akademie der Wissenschaften u. s. w.

ZUM 70. GEBURTSTAGE

(15. Februar 1877)

als Zeichen inniger Verehrung und Dankbarkeit dargebracht

VOM VERFASSER.

*

VORWORT.

Seit einer Reihe von Jahren beschäftigen mich Untersuchungen über die Physiologie des Chlorophylls. Ein Theil dieser Arbeiten wurde bereits zum Abschluss gebracht und veröffentlicht. [1])

Die vorliegende Abhandlung, welche sich mit der Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze beschäftigt, ist eine neue Frucht meiner eben bezeichneten Bestrebungen.

Die Wichtigkeit des Thema's wird wohl ebensowenig angefochten werden, als man die Schwierigkeiten verkennen wird, welche sich der Bewältigung desselben entgegenstellen. Man geht bei der Erforschung der Vorgänge im lebenden Organismus, namentlich bei der Bearbeitung der in dieser

---

[1]) Untersuchungen über die Farbstoffe einiger für chlorophyllfrei gehaltenen Phanerogamen. Pringsheim's Jahrbücher für wiss. Botanik, Bd. VIII. (1872), pag. 575 ffd.

Untersuchungen über die Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzungsberichte der k. Akad. der Wissenschaften, Band 69, Juli 1874.

Die natürlichen Einrichtungen zum Schutz des Chlorophylls der lebenden Pflanzen. Festschrift der k. k. zoologisch-botanischen Gesellschaft. Wien 1876.

Untersuchungen über den Einfluss des Lichtes und der strahlenden Wärme auf die Transspiration der Pflanze. Sitzungsber. der Wiener Akademie der Wissenschaften, Bd. 74, 20. Juli 1876. Octoberheft.

Schrift gestellten Fragen bekanntlich nicht auf so breiten geebneten Wegen, wie in vielen anderen Bezirken der botanischen Wissenschaft. Dies werden sich wohl alle billigen und gerechten Beurtheiler der vorliegenden Arbeit vor Augen halten, und werden, wenn ich auf steilen Pfaden hier und dort zu Falle gekommen sein sollte, nicht allzuhart mit mir in's Gericht gehen, besonders wenn sie sich erinnern, dass selbst grosse Meister der Wissenschaft bei Untersuchungen über das Chlorophyll Irrungen unterworfen waren. Ich hoffe indess meinen Fachgenossen in dieser Schrift eine beträchtliche Anzahl neuer, und zum Theile nicht unwichtiger Beobachtungen und einzelne fruchtbare, zur Belebung weiterer Forschungen geeignete Ideen bieten zu können.

Die Literatur des Gegenstandes ist von mir gewissenhaft und, wie ich glaube, vollständig zu Rathe gezogen worden. Ich habe dieselbe indess zumeist nur insoweit aufgeführt, als es zur Präcisirung des Standes der behandelten Fragen erforderlich war. Eine erschöpfende, auf die gesammte Literatur des Chlorophylls sich stützende historische Darstellung behalte ich mir vor in einem grösseren Werke, einer monographischen Bearbeitung des Chlorophylls, welche ich vorbereite, zu geben.

Bei der Durchführung der zahlreichen von mir erdachten Versuche, welche meiner Abhandlung zu Grunde liegen, hatte ich mich der thätigen Mithilfe meines ehemaligen Assistenten, des Herrn Gymnasialprofessors Dr. A. Burgerstein, meines jetzigen Assistenten, Herrn K. Mikosch und des Cand. phil., Herrn Th. v. Weinzierl zu erfreuen. Diesen meinen treuen und gewissenhaften Mitarbeitern spreche ich hier meinen herzlichen Dank aus.

Mein verehrter Lehrer, dem ich diese Blätter widme, wird sie, so hoffe ich, freundlich aufnehmen. Sie werden ihn an manches unserer Gespräche über die hier behandelten

Fragen erinnern und an die vielen Anregungen, welche mir aus dem reichen Schatze seiner Erfahrungen bei meinen botanischen Studien geworden sind. Sie werden — eine bescheidene Spende zu seinem 70. Geburtstag, den er noch in Jugendfrische zu erleben das seltene Glück hat — ihm auch ein äusseres Zeichen sein der Verehrung und Dankbarkeit, welche ein nunmehr nahezu zwanzigjähriger Verkehr mit dem Gefeierten in mir gefestigt hat.

Wien, im Dezember 1876.

Julius Wiesner.

INHALT.

Seite

Vorwort V

Einleitung 1

I. Versuche über die Frage, ob das Chlorophyll eisenhaltig ist . . 19

II. Steht das Chlorophyll mit dem Etiolin in genetischem Zusammenhange? 25

III. Ermöglichen die dunklen Wärmestrahlen die Entstehung des Chlorophylls? 39

IV. Die Beziehungen der leuchtenden Strahlen zur Entstehung des Chlorophylls und der Nachweis, dass sogenannte „*rayons continuateurs*“ bei der Chlorophyllbildung wirksam sind 51

V. Die Wirksamkeit der ultravioletten Strahlen bei der Chlorophyllbildung 59

VI. Bestimmung der geringsten Helligkeit, welche zur Chlorophyllbildung ausreicht 61

VII. Verschiedenes Lichtbedürfniss beim Ergrünen verschiedener Pflanzen 76

VIII. Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung bei constanten äusseren Bedingungen. Photochemische Induction bei der Entstehung des Chlorophylls 82

IX. Einfluss der Temperatur auf die Chlorophyllbildung 91

X. Ist die Kohlensäure bei der Chlorophyllbildung betheiligt? . . . 99

XI. Zusammenfassung der Resultate und Schlussbemerkungen . . . 113

Druckfehler.

Seite	16		5.	Zeile	von	oben	lies	späteren	statt	späten.
„	26		6.	„	„	„	„	sollten	„	sollen.
„	77		7.	„	„	„	„	gewisse	„	grosse.
„	81	5. u.	15.	„	„	„	„	Pseudoacacia	„	Pseudoacaia.
„	91		3.	„	„	„	„	Steigerung	„	Steigung.

Einleitung.

Es ist lange bekannt, dass der grünen Pflanze die Fähigkeit zukömmt, aus rein unorganischen Substanzen organische zu produciren, ein Vermögen, welches den chlorophyllosen, also nicht grünen Pflanzen abgeht. Die neuere Forschung hat ferner, wie nicht minder bekannt, constatirt, dass jene organisirten Inhaltskörper der Zelle, die man ihrer chlorophyllgrünen Farbe halber als Chlorophyllkörner oder allgemein als Chlorophyllkörper bezeichnet, die Organe der Production organischer Substanz sind. Sachs war es, der theils auf Grund eigener Untersuchung, theils durch glückliche Interpretation älterer von Mohl, Nägeli und Gris angestellter Beobachtungen geleitet diesen Sachverhalt aufklärte.

Aber schon sehr lange vor dieser Entdeckung hat sich die Anschauung Bahn gebrochen, dass die grüne Substanz der Pflanze in den Process der Assimilation verwickelt ist, ja dass die Erzeugung organischer Stoffe aus rein unorganischem Materiale und die damit Hand in Hand gehende Ausscheidung von Sauerstoff an das Vorhandensein des Chlorophylls geknüpft sei.

Man liess sich hierbei nur durch die Beobachtung leiten, dass die eben genannten Processe ausschliesslich in der grünen Pflanze stattfinden. Eine Bekräftigung dieser Anschauung liegt nun allerdings in der Wahrnehmung, dass gerade in

jener Epoche des Lebens eine Pflanze, in welcher die Laubblätter, diese vornehmlichsten Träger des Chlorophylls, am üppigsten entwickelt sind, die stärkste Neubildung organischer Stoffe stattfindet [1]). Allein beweisend für die Nothwendigkeit des Chlorophylls zur Assimilation ist auch diese Thatsache selbstverständlich nicht.

So wenig erfolgreich nun auch die Untersuchungen über die Bedeutung des Chlorophylls für die Bildung organischer Stoffe und für die Sauerstoffausscheidung ausfielen, so wenig liess man sich abschrecken, den Beziehungen dieses noch immer so räthselhaften Körpers zu den Processen der Stoffwandlung in der Pflanze nachzugehen.

Es dürften gegenwärtig sich wohl nur wenige Fragen der Pflanzenphysiologie einer so eifrigen und eingehenden Bearbeitung erfreuen als die Chlorophyllfrage.

Es ist wohl auch nicht mehr zu verkennen, dass das Chlorophyll nicht nur vom Standpunkte der Stoffwechsellehre im Auge zu behalten ist, sondern, weil seine Einflussnahme auch auf andere Processe des Pflanzenlebens sich erstreckt, ein noch grösseres physiologisches Interesse in Anspruch nimmt. So ist es mir vor nicht langer Zeit gelungen zu zeigen, welche mächtige Einwirkung das Chlorophyll auf die Transspiration im Lichte äussert, indem es einen Umsatz von Licht in Wärme bewirkt, welche letztere zum grossen Theile dazu verwendet wird, die Spannkraft des Wasserdampfes in den Gasräumen der grünen Organe zu steigern. [2])

Die folgenden Blätter sind der Frage über die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze gewidmet, mit welchem Gegenstande ich mich lange und eingehend beschäftigt habe.

In der vorliegenden Einleitung will ich zunächst den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse über die chemische

---

[1]) Vgl. hierüber Arendt, Wachsthum der Haferpflanze 1859, pag. 113; auch A. Mayer's Agriculturchemie 1876, pag. 16.

[2]) Untersuchungen über den Einfluss des Lichtes und der dunklen Wärme auf die Transspiration der Pflanze. Sitzungsberichte der Wiener Academie der Wissenschaften 1876, Juliheft.

Beschaffenheit des Chlorophylls darlegen; ich werde hierin nur so weit ausgreifen, als es jene Untersuchungen erheischen, über deren Resultate ich in einigen der folgenden Capitel berichten werde. Hieran werde ich eine kurze Schilderung der herrschenden Ansichten über die Beziehung des Chlorophylls zum Stoffwechsel in der Pflanze knüpfen. Die Kenntnisse über die morphologischen Vorgänge in der Pflanzenzelle zur Zeit der Entstehung des Chlorophylls sind gerade jenen Lesern, welche ich vor Augen habe, so bekannt, dass ich mit wenigen Worten werde diesen Punkt der Einleitung erledigen können.

Unsere bisherigen Kenntnisse über die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze werde ich in dieser Einleitung nur in rohen Umrissen schildern und Details hierüber erst in den einzelnen Capiteln meiner Abhandlung bringen. Eine erschöpfende Behandlung der historischen Seite meines Gegenstandes wird man auch dort nicht finden. Es liegt dies auch nicht im Plane meiner Schrift, wie ich schon im Vorworte andeutete. Die in den einzelnen Capiteln vorzubringenden historischen Darlegungen werden nicht weiter reichen, als es zur Präcisirung der zu stellenden Fragen nöthig erscheint.

Unter Chlorophyll verstehe ich im Nachfolgenden die grüne Substanz der Pflanzen, also ein chemisches Individuum (das in voller Reinheit herzustellen bekanntlich noch nicht gelungen ist) und nicht die organisirten Inhaltskörper der Zelle, an die gebunden es stets in der Pflanze vorkömmt. Ich verstehe also unter Chlorophyll das, was man nach dem Vorschlage von G. Kraus als Kyanophyll bezeichnet.

Da aber in der durch Ausschüttlung aus alkoholischen Rohchlorophylllösungen mittelst Benzol oder anderen ähnlich wirkenden Flüssigkeiten gewonnenen sattgrünen mit rothem Lichte fluorescirenden Lösung als tingirende Substanz offenbar jener Körper steckt, der die grüne Farbe der Pflanzen bedingt und den man seit den Untersuchungen von Pelletier und Caventou als Chlorophyll anspricht, so scheint es mir unnöthig für diese Substanz einen andern Namen zu wählen.

Das von Kraus aufgestellte Kyanophyll ist nach meiner Auffassung nichts anderes als ein von Xanthophyll und wahrscheinlich nebenher noch von anderen Substanzen befreites Chlorophyll, eine Anschauung, die ich mit Cohn, Pringsheim, C. Kraus und anderen Forschern theile. —

Der gegenwärtige Stand der Kenntnisse über die chemische Beschaffenheit des Chlorophylls.

Um des Chlorophylls oder eines anderen Pflanzenstoffes habhaft zu werden, stehen bekanntlich zwei Wege offen: die Reingewinnung aus dem betreffenden Pflanzentheile und die künstliche Darstellung aus anderen bekannten chemischen Individuen. Beide Wege wurden betreten, um das Chlorophyll zu gewinnen; keiner hat indess bis jetzt zum Ziele geführt.

Die völlige Isolirung des Chlorophylls von den begleitenden Verbindungen schien mehrmals geglückt zu sein. Allein man hat das Vertrauen zu den gewonnenen Körpern wohl stets bald wieder verloren. Man verschmäht es gegenwärtig gewöhnlich in den allgemein zusammenfassenden chemischen Werken selbst auch nur eine empirische Formel des Chlorophylls anzuführen. [1])

Selbst über die Elemente, welche an der Constitution des Chlorophylls Antheil nehmen, herrscht noch keine Uebereinstimmung. Neben Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, die in allen Analysen des Chlorophylls als Elemente dieses Körpers bezeichnet werden, werden auch Stickstoff und Eisen genannt.

Bekanntlich hat zuerst Mulder [2]) eine chemische Analyse des Chlorophylls mitgetheilt. Er fand in Chlorophyll neben C, H und O noch 13 Proc. N. Später haben E. Morren und Morot [3]) 9 Proc. N. in diesem Körper aufgefunden.

---

[1]) S. z. B. Kolbe, org. Chemie, III. 2. Abth. 1868, pag. 226, ffd. Husemann, Pflanzenst. 1873, p. 623 ffd. A. Mayer, Agriculturchem. 1876.

[2]) Berzelius, Jahresbericht f. Chemie. Bd. 24, p. 502.

[3]) Jahresbericht für Chemie, 1859, p. 561.

In der bekannten Arbeit Pfaundler's[1]) über das Chlorophyll wird der Stickstoffgehalt desselben wieder in Abrede gestellt. In der That hat Pfaundler in der von ihm aus Grasblättern dargestellten Substanz bloss 0·037 Proc. N festgestellt, eine Menge, welche viel zu gering ist, um N hier als constituirenden Bestandtheil des Chlorophylls ansehen zu können. Die Stickstofffrage des Chlorophylls hat hiedurch noch nicht ihren Abschluss gefunden, indem Kromayer[2]) bei einer später unternommenen Analyse im Chlorophylls von Weizenblättern 7 Proc. N auffand.

Mit grösserer Zuversicht wird heute von dem Eisengehalte des Chlorophylls gesprochen. Man stützt sich hiebei auf folgende Thatsachen. Verdeil[3]) fand im alkoholischen Chlorophyllextract Eisen. Bei der Verbreitung des Eisens in den Geweben der Pflanzen und dem Umstande, dass viele Eisenverbindungen, also möglicher Weise auch die in den Geweben neben dem Chlorophyll auftretenden, in Weingeist löslich sind, ist seine Auffindung keineswegs beweiskräftig. Es ist gelungen, chlorotische Pflanzen durch Zusatz von Eisensalzen zum Boden oder zu Nährstofflösungen, in welchen sie vegetirten, zum Ergrünen zu bringen, und bei Ausschluss von Eisenverbindungen wurden sonst grüne Pflanzen, selbst unter übrigens günstigen Vegetationsbedingungen chlorotisch[4]). Am lehrreichsten sind die einschlägigen Versuche von Sachs[5]), welcher fand, dass in eisenfreien Nährstofflösungen gezogene Maispflänzchen nur wenige grüne Blätter hervorbringen, deren Chlorophyll seinen Eisenbedarf aus dem nie fehlenden Eisengehalte des Samens deckt, dass dann die später sich bildenden Blätter chlorotisch werden, aber auf Zusatz von Eisensalzen (Eisenchlorid, „essigsaurem und schwefelsaurem Eisen")

---

[1]) Annalen der Chemie und Pharmacie, Bd. 115, p. 37 ffd.

[2]) Archiv der Pharm., Bd. 156; chem. Centralbl. 1867, p. 393.

[3]) Annalen Chem. Pharm., Bd. 12, p. 37.

[4]) Fürst zu Salm-Horstmar, Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanze, 1856. A. Gris, Annalen des sc. natur. 4. Ser. Bot. T. VII., p. 201; auch Pfaundler l. c.

[5]) Flora 1862, p. 182.

zu den Nährstofflösungen in 24—48 Stunden deutlich, in drei bis vier Tagen normal grün werden. Alle diese Versuche lehren, dass Eisen zur Chlorophyllbildung nothwendig ist, nicht aber, dass es an dessen Zusammensetzung Antheil nehmen müsse, obwohl die gemachten Beobachtungen auch dies als wahrscheinlich annehmen lassen.

Von Seite der Chemiker stützt man sich, indem man den Eisengehalt des Chlorophylls annimmt, zumeist auf die Versuche von Pfaundler. Allein, nach unseren Erfahrungen über die leichte Zerstörbarkeit des Chlorophylls durch Säuren — bekanntlich genügt eine Spur von Salzsäure, um die Farbe und das Spectrum des Chlorophylls sofort zu ändern[1]) — ist wohl nicht daran zu zweifeln, dass Pfaundler einen Körper dargestellt und analysirt hat, der mit dem Chlorophyll, wie es in den alkoholischen Extracten grüner Pflanzentheile vorkömmt, nicht identisch ist. Er verwendete zur Gewinnung seiner Substanz Grasblätter, welche in einer Stampfe zerquetscht wurden. Aus dem abgepressten, zum Sieden erhitzten Safte wurde mit Alkohol und späterer Behandlung mit Salzsäure die grüne Substanz in Lösung gebracht. Es wurde nach dem Eindampfen eine dunkelblaue pulverige Masse erhalten, welche sich in Alkohol und Aether mit gelbgrüner, in Schwefelkohlenstoff mit braungelber Farbe löste, während bekanntlich aus den im frischen, concentrirten Zustande stets smaragdgrünen alkoholischen Rohchlorophyll-Extracten sich tiefgrüne Aether- und Schwefelkohlenstofflösungen des Chlorophylls erzielen lassen.

Auch die Methoden anderer Chemiker leiden an dem Fehler, dass zur Trennung des Chlorophylls von den begleitenden Pflanzenstoffen stets zu energisch wirkende Mittel in Anwendung gebracht wurden. Es scheint, als würden den Chemikern jene ganz indifferenten Mittel, durch welche es einigen Botanikern (Kraus, Millardet u. A.) gelang, eine Trennung des Chlorophylls — oder wie man den nunmehr reineren Körper genannt hat: Kyanophyll — von dem steten Begleiter desselben, dem Xanthophyll und zweifellos noch anderen Körpern vorzu-

[1]) Vgl. G. Kraus, Chlorophyllfarbstoffe 1872, p. 73.

nehmen, nicht bekannt sein. Solche Trennungsmittel sind z. B. Benzol [1]), Toluol, Xylol, fette Oele, Schwefelkohlenstoff etc., welche aus den alkoholischen Rohchlorophyll-Extracten das Chlorophyll (Kyanophyll) aufnehmen. Freilich dürften diese Ausschüttlungsmethoden direct noch zu keiner Reindarstellung des Chlorophylls führen, allein sie sind gewiss wichtige, erfolgversprechende Verfahrungsweisen zur Isolirung dieses Körpers. [2])

Ich werde in dem folgenden Capitel versuchen, mit Zuhilfenahme eines dieser Mittel die Frage ihrer Entscheidung näher zu bringen, ob das Chlorophyll Eisen enthält oder nicht. —

Der zweite oben genannte Weg, aus schon bekannten chemischen Individuen das Chlorophyll darzustellen, ist zuerst von Hlasiwetz, später, wie ich glaube, mit günstigerem Erfolge von Ad. Baeyer betreten worden.

Hlasiwetz [3]) liess auf eine weingeistige Lösung von Quercetin eine alkoholische Eisenchloridlösung einwirken. Die durch Eindampfen erhaltene grüne Masse löst sich in Weingeist mit chlorophyllgrüner Farbe. Ich habe mir den eisenhaltigen Quercetinfarbstoff dargestellt, finde aber, dass derselbe weder fluorescirt, noch ein mit dem Chorophyllfarbstoff irgend wie übereinstimmendes Absorptionsspectrum liefert, so dass die Annahme, das Chlorophyll wäre eine Eisenverbindung des Quercetins, wohl keine Berechtigung hat.

---

[1]) Es hat allerdings Harsten bei seiner Arbeit über die Reindarstellung des Chlorophylls (Chem. Centralbl. 1873, p. 206) Benzol zur Abscheidung dieses Körpers benützt. Allein da er sein Rohmateriale bloss mit Weingeist zu einem Brei anrührte und aus der mit Weingeist durchtränkten Masse mit Benzol auszog, so ging in seine Lösung viel Xanthophyll mit. Dass Xanthophyll sich in Benzol löst, habe ich constatirt. (S. Wiesner. Die Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzungsber. d. k. Akad. der Wissensch. math. nat. Kl., Bd. 69, I. Abth., Sep. Ab. pag. 17.)

[2]) Ueber diese Trennungsmethoden siehe G. Kraus l. c. und Wiesner in: Flora 1874, Nr. 18.

[3]) Sitzungsber. der k. Akad. der Wissenschaften, math. nat. Kl., Bd. 36. S. auch Pfaundler l. c., pag. 44.

Auch eine weitere Vermuthung Hlasiwetz', dass ein genetischer Zusammenhang zwischen Berberin und Chlorophyll bestehe, hat sich nicht bewährt[1]).

Baeyer[2]) ist es gelungen, durch Mischung von Furfurol mit Resorcin (oder Pyrogallussäure) und Benetzung des Gemenges mit einer Spur Salzsäure eine prachtvoll blaue, in Wasser mit grüner Farbe sich lösende Substanz zu erhalten, welche in ihren Eigenschaften an das Chlorophyll erinnert und wahrscheinlich in dieselbe Gruppe gehört. Sachsse[3]) hat nun die genannte, äusserst leicht zersetzliche Substanz nach einem etwas veränderten Verfahren in haltbarerer Form dargestellt und hat ihr Spectrum mit dem bekanntlich sehr charakteristischen Spectrum des Chlorophylls verglichen. Er löste Pyrogallussäure in Alkohol auf, fügte etwas Salzsäure hinzu, hierauf ein kleines Quantum von Eisenchlorid und nunmehr erst brachte er die Mischung mit Furfurol zusammen. Die Flüssigkeit ergrünt langsam, behält aber die Farbe durch längere Zeit. Bei der spectroscopischen Untersuchung erhielt Sachsse einen scharfen Absorptionsstreifen im Roth und eine starke continuirliche Absorption, welche fast das ganze Blau und Violet wegnahm. Eine Aehnlichkeit im Absorptionsspectrum des Baeyer'schen Körpers mit dem des Chlorophylls fällt sofort in die Augen. Es wurde von Sachsse auch constatirt, dass die Absorption des fraglichen Körpers mit dem bekannten charakteristischen Absorptionsstreifen I des Chlorophyllspectrums coincidirt. Ein genauerer Vergleich der beiden Absorptionsspectren fehlt noch und es wäre nur zu wünschen, dass baldigst eine erneute Untersuchung mit verschieden concentrirten Lösungen des Baeyer'schen Körpers angestellt werde, damit die Frage ihre Lösung finde: ob nicht die beobachtete continuirliche Absorption des Furfurolfarbstoffes in die dunklen Streifen V, VI und VII des Chlorophyllspectrums sich zerlegen lasse und ob nicht auch dunkle Streifen, welche den

---

[1]) Vgl. Pfaundler l. c., pag. 45.

[2]) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Bd. 5, p. 26.

[3]) Sitzungsberichte der naturforsch. Gesellschaft zu Leipzig 1875, pag. 115 ffd.

Absorptionen II und III des Chlorophyllspectrums entsprechen, auffindbar sind. Es ist dies von vorneherein nicht als unwahrscheinlich anzusehen, da bekanntlich bei unvollständiger Untersuchung des Chlorophyllspectrums nichts Anderes gesehen wird, als was Sachsse bei der spectroscopischen Prüfung des Baeyer'schen Körpers gesehen hat: nämlich ein scharfbegrenzter schwarzer Streifen zwischen den Fraunhofer'schen Linien B und C (Absorptionsstreifen I) und eine continuirliche Endabsorption im brechbaren Theile des Spectrums. Sollte sich dann in der That eine genauere Uebereinstimmung in den Absorptionsspectren des Baeyer'schen Farbstoffes mit Chlorophyll oder des sogenannten Säurechlorophylls herausstellen, so wäre man auf der richtigen Fährte, durch künstliche Darstellung des Chlorophylls habhaft zu werden. Ich habe Baeyer's grüne Substanz durch Einwirkung von Furfurol auf mit einem kleinen Quantum Salzsäure befeuchteter Pyrogallussäure erhalten und habe selbe zunächst, um eine etwaige genauere Uebereinstimmung mit dem Chlorophyll constatiren zu können, auf Fluorescenz geprüft, erhielt aber ein negatives Resultat. Da die von mir dargestellte Lösung des Baeyer'schen Körpers keine Haltbarkeit zeigte, so unterliess ich eine genauere spectroscopische Prüfung, kann aber die von Sachsse angegebene Aehnlichkeit des Absorptionsspectrums dieses Körpers mit dem des Chlorophylls bestätigen.

Ueber Spaltungsproducte des Chlorophylls sind allerdings vielfache Untersuchungen angestellt worden, namentlich von Fremy[1]) und Kromayer[2]); dieselben haben aber weder über das Molekül des Chlorophylls Licht verbreitet, noch gewähren uns die gewonnenen Resultate irgend welchen Einblick in die Genesis dieses Körpers.

---

[1]) Compt. rend. T. 61, p. 188.

[2]) Archiv d. Pharm., Bd. 156, p. 164 (auch chem. Centralbl. 1861).

Theoretische Anschauungen über die Beziehung des Chlorophylls zur Assimilation.

Ich begnüge mich, die in neuerer Zeit von competenter Seite ausgesprochenen, theoretisch berechtigten Anschauungen über diesen Gegenstand hier in Kürze darzulegen und hieran nur einige wenige kritische Bemerkungen zu knüpfen.

Nach Baeyer [1]) ist das Chlorophyll beim Processe der Assimilation (Production organischer Substanzen unter Ausscheidung von Sauerstoff) direct betheiligt. Der genannte Forscher wendet sich gegen die bekannte Hypothese, nach welcher die Kohlenhydrate aus Kohlenoxydgas (hervorgegangen aus Kohlensäure in der belichteten Pflanze unter Ausscheidung von Sauerstoff) und Wasser durch fortgesetzte Synthesen enständen, wobei Ameisen-, Oxal-, Weinsäure etc. als Zwischenglieder auftreten sollen, und bildet sich, anknüpfend an die schöne Entdeckung Butlerow's, welcher aus dem Formaldehyd durch die Einwirkung von Alkalien direct einen zuckerartigen Körper erhielt, folgende Vorstellung über den Process der Assimilation: „Die Entdeckung Butlerow's gibt hiezu (Entstehung des Zuckers in der Pflanze aus Kohlensäure und Wasser) den Schlüssel, und es ist eigentlich zu verwundern, dass sie bisher von den Pflanzenphysiologen noch so wenig ausgebeutet ist. Man hat vielfach auf die Aehnlichkeit hingewiesen, welche zwischen dem Blutfarbstoff und dem Chlorophyll der Pflanze existirt. Demnach muss es auch als wahrscheinlich erscheinen, dass das Chlorophyl, ebenso wie das Haemoglobin CO bindet. Wenn nun Sonnenlicht Chlorophyll trifft, welches mit Kohlensäure umgeben ist, so scheint die Kohlensäure dieselbe Dissociation wie in hoher Temperatur zu erleiden, es entweicht Sauerstoff und das Kohlenoxyd bleibt mit dem Chlorophyll verbunden. Die einfachste Reduction des

---

[1]) Ueber die Wasserentziehung und ihre Bedeutung für das Pflanzenleben und die Gährung. Berichte d. deutschen chem. Gesellschaft, Bd. III, pag. 63 ffd. (1870).

Kohlenoxyds ist die zum Aldehyd der Ameisensäure, es braucht nur Wasserstoff aufzunehmen.

$$CO + H_2 = COH_2$$

und dieser Aldehyd kann sich unter dem Einflusse des Zellinhaltes ebenso wie durch Alkalien in Zucker verwandeln."

Die Vorgänge im assimilirenden Chlorophyllkorn sprechen entschieden mehr für die Baeyer'sche, als für die von ihm bekämpfte Liebig'sche Hypothese der allmäligen Synthesen; ja, es will mir scheinen, als würden diese Vorgänge die Liebig'sche Hypothese geradezu ausschliessen. Man sieht bekanntlich im belichteten Chlorophyllkorn Stärke entstehen. Im Chlorophyllkorn können keine organischen Säuren bestehen [1]), da dieselben das Chlorophyll sofort verändern, in sogenanntes Säure-Chlorophyll verwandeln, welches sich vom Chlorophyll der lebenden Zellen schon durch die Farbe und das Spectrum unterscheidet. Hingegen können im Chlorophyllkorn alkalisch reagirende Körper angenommen werden, denn die Grundlage des Chlorophylls im Chlorophyllkorn bildet bekanntlich Protoplasma, das der Hauptmasse nach aus Eiweisskörpern besteht. Wo das Protoplasma aber hauptsächlich den Zelleninhalt constituirt, wie im Cambium, in welchen Fällen es dann auf die Reaction geprüft werden kann, verhält es sich schwach alkalisch. Die Substanzen nun, welche die Alcalität des Zellinhaltes bedingen, könnten möglicherweise in der protoplasmatischen Grundmasse des Chlorophyllkornes jene

---

[1]) Der Zellsaft der chlorophyllführenden Zellen reagirt stets mehr oder minder deutlich sauer. Die Chlorophyllkörner sind nur dadurch, dass sie im Protoplasma liegen und dass dieses für Säuren undurchlässig ist, vor der zerstörenden Wirkung, welche letztere auf die Substanz des Chlorophylls ausüben, geschützt. Taucht man ein Blatt von Oxalis acetosella, dessen chlorophyllführende Zellen einen stark sauer reagirenden Zellsaft besitzen, auf eine Secunde in siedendes Wasser ein, so nimmt das Blatt sofort eine braune Färbung an. Das die Chlorophyllkörner umhüllende Protoplasma wurde durch die Siedhitze getödtet und ist hiebei für Säuren durchlässig geworden. Letztere zerstören das Chlorophyll sofort. (Siehe Wiesner: Die natürlichen Einrichtungen zum Schutze des Chlorophylls der lebenden Pflanze. Festschrift der k. k. zool. bot. Ges., Wien 1876, pag. 24) (Sep. Ab. p. 6.)

chemischen Individuen sein, welche die Umwandlung des Formaldehyds in Zucker oder dessen Anhydrid (Stärke) bewirken.

Eine hievon gänzlich verschiedene Auffassung der chemischen Function des Chlorophylls hat später Sachsse[1]) zu begründen versucht. Er knüpft an die oben mitgetheilte Reaction Baeyer's an, welche durch Einwirkung von Pyrogallussäure auf Furfurol bei Gegenwart einer Spur von Salzsäure eintritt. Er erblickt in dem bei dieser Reaction entstehenden blauen (im gelösten Zustande grünen) Körper, dessen Identität oder nahe Verwandtschaft mit dem Chlorophyll für ihn höchst wahrscheinlich ist, eine Substanz, welche in sehr enger Beziehung zu zwei im Pflanzenreiche sehr weit verbreiteten Klassen von Verbindungen, den Kohlenhydraten und Gerbsäuren steht. Denn das Furforol ist als Aldehyd der Brenzschleimsäure ein Derivat der Kohlenhydrate; die Pyrogallussäure hingegen ein Derivat der Gerbsäuren.

Sachsse betrachtet das Chlorophyll als das erste sichtbare Assimilationsproduct, entstanden durch Reduction der Kohlensäure und des Wassers und nimmt an, dass durch weitere Reduction und Veränderungen des Chlorophylls Stärke oder andere Kohlenhydrate entstehen. Das Chlorophyll wäre hiernach die Muttersubstanz der Stärke.

Ob das Chlorophyll in demselben Sinne wie die Kohlenhydrate als Assimilationsproduct gedeutet werden darf, soll später geprüft werden.

Das Beachtenswerthe in Sachsse's Hypothese liegt nach meinem Dafür-halten nicht nur darin, dass das Chlorophyll in genetischen Zusammenhang mit den Kohlenhydraten gebracht wird und zwar in dem Sinne, dass in der Pflanze aus dem Chlorophyll Stärke gebildet wird (wobei das verloren gehende Chlorophyll stets durch Neubildung ersetzt wird), sondern auch in dem, dass diese Hypothese auch den umgekehrten Fall erklärlich macht. Sachsse stützt sich bei der Annahme der Rückbildung des Chlorophylls aus Stärke vor-

[1]) l. c. pag. 115 ffd.

nehmlich auf meine Beobachtungen an Neottia Nidus avis [1]), bei welcher Pflanze, wie später Prillieux [2]) bestätigte, zuerst massenhaft Stärke auftritt und mit dem Verschwinden derselben nach und nach lichtbräunliche Farbstoffkörperchen entstehen, welche auf Einwirkung von Alkohol und anderer Reagenzien ergrünen, ferner mit Alkohol eine Lösung geben, die nach dem spectroscopischen Verhalten und nach der characteristischen rothen Fluorescenz zu schliessen Chlorophyll enthält.

Die hier kurz skizzirte Anschauung Sachsse's ist ebenso hypothetisch, wie die Baeyer's.

Für meine Zwecke hat erstere zunächst den Werth, dass sie einige weiter unten folgende Beobachtungen, die sonst unverständlich wären, in ungezwungener Weise erklärt.

Nach den Untersuchungen einiger Forscher über das Absorptionsspectrum und über das Fluorescenzlicht des Chlorophylls wäre das letztere in den chemischen Process der Assimilation gar nicht verwickelt.

Es soll bloss durch seine Absorptionsfähigkeit für Lichtstrahlen den chemischen Process der Assimilation beherrschen und zwar dadurch, dass die beim Auslöschen der Lichtstrahlen gewonnene lebendige Kraft, die Arbeit der Reduction der Kohlensäure und die Synthese der Assimilationsproducte vollzieht. [3])

Diese Hypothese ist, wie es scheint, nicht mit Unrecht hart bekämpft worden, weil sie sich auf Untersuchungen stützt, welche mit alkoholischen Chlorophyllextracten angestellt wurden, in welchen bei Gegenwart von Licht und Sauerstoff bekanntlich vorwiegend andere chemische Processe sich vollziehen, als in der assimilirenden chlorophyllhaltigen Zelle; ferner weil es durch das directe Experiment, durch die übereinstimmenden Untersuchungen zahlreicher Forscher

---

[1]) Pringsheim's Jahrb. f. wisss. Bot., Bd. 8, p. 579.

[2]) Ann. des sc. nat. XIX. (1874), p. 109.

[3]) Vergl. hierüber Lommel in Pogg. Annalen, Band 23 (1872), pag. 581 und N. J. C. Müller in Pringsh. Jahrb. für wiss. Bot., Bd. 9, pag. 42 ffd.

erwiesen ist, dass die bei der Assimilation am kräftigsten wirkenden Lichtstrahlen gar nicht mit den in den dunkeln Absorptionsstreifen des Chlorophyllspectrums ausgelöscht erscheinenden Lichtstrahlen zusammenfallen [1]). Die physiologische Function der zur Entstehung der dunklen Bänder des Chlorophyllspectrums führenden Lichtabsorption ist noch nicht völlig aufgeklärt, dass sie aber mit der Entstehung und Zerstörung des Chlorophylls im Lichte und mit der Assimilation entweder in gar keinem Zusammenhange steht oder für diese Processe nur Unerhebliches leistet, darf wohl als ausgemacht betrachtet werden. Welche Bedeutung diese Absorption für den in der Pflanze stattfindenden Umsatz von Licht in Wärme hat, und was die so gewonnene Wärme für eine Arbeitsleistung bei der Transpiration grüner Gewächse hervorbringt, habe ich an einem anderen Orte thatsächlich zu begründen versucht [2]).

Die mehrfach aufgestellte Behauptung, das Chlorophyll sei bei der Assimilation gar nicht activ betheiligt, sondern entstehe hiebei gewissermassen nur als ein Abfallsproduct, ist in neuerer Zeit wieder von Gerland [3]), freilich nur als Vermuthung aufgetaucht. Er glaubte, dass die Assimilation in der protoplasmatischen Grundlage des Chlorophyllkornes erfolge, also durch Einwirkung von Kohlensäure und Wasser auf die farblosen Substanzen des Chlorophyllkornes die Stärke sich bilde und nebenher auch Chlorophyll entstehe.

Die Unrichtigkeit dieser Aussage lässt sich durch ein einfaches Factum erweisen. Die Entstehung des Chlorophylls erfolgt bei sehr geringen, unten genauer zu präcisirenden Helligkeiten, welche für die Production organischer Substanzen nicht ausreichen. Es entsteht also das Chlorophyll unter

---

[1]) Ueber diesen Gegenstand vgl. Pfeffer, die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen. Arbeiten des bot. Institutes in Würzburg 1874 I., pag. 1 ffd. Daselbst auch ein ausführlicher Literaturnachweis über die einschlägigen Arbeiten.

[2]) Sitzungsber. der Wiener Akademie der Wissenschaften 1876. Juliheft, Bd. 9, pag. 42 ffd.

[3]) Pogg., Ann. Bd. 148, p. 99 ffd.; chem. Centralbl. 1873, p. 87.

Bedingungen, welche von denen der Assimilation verschieden sind. Die Anschauung Gerland's muss mithin fallen gelassen werden.

Damit bin ich aber keineswegs genöthigt die oben mitgetheilte Ansicht Sachsse's über die Bedeutung des Chlorophylls bei der Assimilation zu verwerfen. Der genannte Forscher bringt allerdings die Entstehung des Chlorophylls mit dessen Assimilations-Thätigkeit in Zusammenhang. Nach seiner Auffassung muss aber die Entstehung des Chlorophylls, welche allerdings nach diesem Forscher von der Kohlensäurezersetzung abhängig ist, von der Production der Kohlenhydrate durch das Chlorophyll getrennt aufgefasst werden. Das Chlorophyll entsteht nach ihm unter Mitwirkung der Kohlensäure, aus dem entstehenden Chlorophyll aber gehen erst durch weitere chemische Processe die Kohlenhydrate hervor.

Die übrigen theoretischen Anschauungen über die Function des Chlorophylls bei der Assimilation will ich unerörtert lassen, weil sie entweder schon als abgethan anzusehen sind, oder weil sie mit den schon angeführten Hypothesen über diesen Gegenstand zusammenfallen. —

In Betreff der morphologischen Verhältnisse des chlorophyllführenden Zellinhaltes will ich hier nur an Folgendes kurz erinnern. Das Chlorophyll findet sich — so weit die bis jetzt angestellten, aber wohl höchst ausgedehnten Beobachtungen reichen — niemals im Zellsafte aufgelöst, sondern tritt fast immer nur an geformtes Protoplasma gebunden auf, mit diesem sogenannte Chlorophyllkörper bildend, die wieder zumeist nur als Chlorophyllkörner ausgebildet sind. Seltener tingirt das Chlorophyll Aleuronkörner, wie dies von Hartig [1]) z. B. bei der Pistacie beobachtet wurde, oder findet sich in Form von Ueberzügen an den Stärkekörnchen mancher Pflanzen, z. B. der Kartoffel (mit dem Amylum sog. falsche Chlorophyllkörner bildend). Die Gestaltung der protoplasmatischen Grundlage der Chlorophyllkörner wurde von Gris und Sachs am genauesten untersucht. Es stellte sich

[1]) Entwicklungsgeschichte des Pflanzenkeimes, Leipzig 1858, p. 70.

heraus, dass die Differenzirung des Protoplasmas zu den späteren Chlorophyllkörnern unter normalen Verhältnissen mit der Entstehung der grünen Substanz gleichen Schritt hält, dass aber beim Etiolement der Pflanzen häufig die Anlage der späten Chlorophyllkörner der Entstehung des Chlorophylls voraneilt. Es entstehen im Dunkeln in diesen Fällen Protoplasmakörperchen, die anfänglich farblos, später gelblich werden, und befähigt sind, sich im Lichte zu Chlorophyllkörnern umzubilden. Diese in etiolirten Pflanzen umgebildeten Chlorophyllkörner mögen in der Folge der Kürze halber Etiolinkörner heissen. Es ist von Sachs [1]) nachgewiesen worden, dass dieselben reichlich meist erst dann in etiolirten Keimlingen auftreten, wenn die Reservestoffe schon aufgezehrt sind. Sie sind kleiner als die im Lichte entstandenen Chlorophyllkörner und wachsen erst am Lichte, unter Annahme der normalen grünen Farbe zur normalen Grösse heran. Beim Ergrünen vergeilter Keimlinge kann aber der Gestaltungsprocess der Chlorophyllkörner auch in anderer Weise vor sich gehen. Wie Sachs [2]) an Cucurbita, Gris [3]) an Vicia Faba zeigte, ergrünt zuerst das formlose Plasma und später erfolgt erst die Bildung der Chlorophyllkörner.

Unsere Kenntnisse über die äusseren Bedingungen der Chlorophyllbildung sind noch sehr mangelhafte. Wir wissen, dass die Chlorophyllbildung der Pflanzen in der Regel, aber nicht ausnahmslos unter dem Einflusse des Lichtes stattfindet. Sachs hat bekanntlich die merkwürdige Entdeckung gemacht, dass die Keimlinge der Coniferen bei Ausschluss des Lichtes ergrünen. Wenn Licht zum Ergrünen erforderlich ist, reicht hiezu nach der herrschenden Ansicht eine geringe Intensität hin. Dennoch wird angenommen, dass verschiedene Pflanzen zum Ergrünen verschiedene Helligkeiten erfordern. Die Beziehung der Brechbarkeit des Lichtes zur Entstehung des Chlorophylls anlangend, hält man dafür, dass nicht nur die

---

[1]) Bot. Zeitung 1862, pag. 365 ffd.
[2]) l. c., p. 366.
[3]) Annalen des sc. nat. 1857.

leuchtenden, sondern auch die dunklen Wärme- und die dunklen chemischen Strahlen, wenn auch im geringen Grade, das Vermögen besitzen, Chlorophyllbildung hervorzurufen. Dass nicht nur das Tageslicht zum Ergrünen führt, sondern dass auch künstliche Lichtquellen: Gaslicht etc. den gleichen Effect hervorbringen, ist nun leicht erklärlich, schon aus dem Grunde, weil geringe Helligkeiten, z. B. schwaches diffuses Licht zur Entstehung des Chlorophylls genügt. Die Beziehungen der Temperatur zum Ergrünen sind noch nicht eingehend studirt worden. Doch ist für die untersuchten Pflanzen gewiss, dass das Chlorophyll selbst bei einer und derselben Species innerhalb weiter Temperaturgrenzen erfolgt. Dass zum normalen Gedeihen der Pflanzen, Kali, Kalk, Magnesia, Eisen, Phosphor und Schwefel erforderlich sind, ist bekanntlich sicher gestellt. Es ist auch zweifellos, dass das Eisen zur Chlorophyllbildung nothwendig ist, aber noch nicht bewiesen, dass im Molekül des Chlorophylls dieser Grundstoff vorhanden ist. Zum Ergrünen der Keimlinge ist Sauerstoff erforderlich; ob aber der Sauerstoff bei der Chlorophyllbildung betheiligt ist, wurde bis jetzt nicht nachgewiesen. Bei dem Umstande, dass jede Pflanze zum normalen Gedeihen Sauerstoff braucht und namentlich auf Kosten der Reservestoffe wachsende Pflanzen (also auch Keimlinge) und Pflanzentheile ein grosses Sauerstoffbedürfniss zeigen, wäre es ganz gut möglich, dass der Sauerstoff beim Ergrünen eine secundäre Rolle spielt, sofern er zum normalen Gedeihen der Pflanze überhaupt nothwendig ist. Dass grössere Mengen von Kohlensäure das Ergrünen behindern, ja sogar gänzlich zu sistiren im Stande sind, steht wohl ausser Zweifel. Andererseits ist nach der in jüngster Zeit gemachten Annahme eines Forschers die Kohlensäure zum Entstehen des Chlorophylls nöthig. Beweise hiefür sind noch nicht erbracht worden. Dass die Chlorophyllbildung ein chemischer in der lebenden Pflanze unabhängig von dem Wachsthum vor sich gehender Process ist, wurde schon vor langer Zeit sicher gestellt, indem schon Senebier zeigte, dass Pflanzen und Pflanzentheile, welche zum Wachsthum nicht mehr befähigt sind,

selbst abgeschnittene etiolirte Blätter noch ergrünen können. Die dagegen später erhobenen Einwände sind als unberechtigt beseitigt worden.

In meinen hier folgenden Untersuchungen über die Entstehung des Chlorophylls habe ich eine grössere Zahl der nach dem heutigen Standpunkt der Wissenschaft lösbaren einschlägigen Fragen zu beantworten oder ihrer Lösung näher zu führen versucht. Die hier und da in dieser Abhandlung eingestreute Discussion von Fragen, deren experimentelle Beantwortung uns heute noch undurchführbar erscheint, wolle nur als eine nebensächliche Beigabe angesehen werden, lediglich bestimmt, zu erneuten Untersuchungen Anregung zu geben.

I.

Versuche über die Frage, ob das Chlorophyll eisenhaltig ist.

Wie in der Einleitung dargelegt wurde, sind wir über die Beziehungen des Eisens zum Chlorophyll noch nicht im Klaren.

Die zunächst liegende Frage ist die: ist Eisen, welches nach den nunmehr als gesichert zu betrachtenden Untersuchungsresultaten zum Ergrünen der Pflanze nothwendig ist, im Chlorophyll enthalten oder spielt es bei der Entstehung dieses Körpers etwa die Rolle, wie der Phosphor bei der Bildung der Eiweissstoffe in der Pflanze, von dem ja lange angenommen wurde, dass er an der Zusammensetzung der Proteïnstoffe Antheil nehme, während heute als ausgemacht angesehen werden darf, dass er allerdings zur Bildung der genannten Stoffe nöthig ist, im Moleküle derselben aber fehlt.

Zur Lösung dieser Frage suchte ich zunächst nach einem Materiale, welches reich an Chlorophyll und möglichst arm an Eisen ist, um bei der Darstellung des Chlorophylls die neben demselben in den Geweben der Pflanzen auftretenden Eisenverbindungen leichter ausschliessen zu können. Die Pflanzentheile, welche man bis jetzt zur Darstellung des Chlorophylls benutzt hat, waren nicht sorgfältig gewählt. Es waren Laubblätter von im Boden wurzelnden Pflanzen, deren Gehalt an Mineralbestandtheilen an und für sich schon ein grosser ist und in deren Asche nicht wenig Eisen vorkömmt, wie aus folgender Zusammenstellung [1]) zu entnehmen ist:

---

[1]) Die nachfolgenden Angaben über Aschenmenge und den Gehalt an Eisenoxyd nach E. Wolff, Aschenanalysen 1871, pag. 153 ffd.

In 100 Gewichtstheilen Trockensubstanz sind enthalten:

	Menge der Reinasche
Englisches Reigras	6·79
Timotheusgras	7·24
Schrader'sche Trespe	11·70

Die Menge an Eisenoxyd in der Reinasche beträgt:

Englisches Reigras	1·25 Proc.
Thimotheusgras	0·84 „
Schrader'sche Trespe	1·46 „

Es sind dies keineswegs die eclatantesten Beispiele für hohe Aschengehalte von Blättern, da beispielsweise das Tabaksblatt über 18 Proc. Asche mit mehr als 3 Proc. Eisenoxyd liefert; allein, ich wählte absichtlich als Beispiele Gräser, da Pfaundler's Versuche über den Eisengehalt des Chlorophylls gerade mit diesem Materiale ausgeführt wurden. Hingegen sind die Samen bedeutend ärmer an Mineralbestandtheilen, ohne gerade einen höheren Gehalt an Eisen aufzuweisen als die Blätter, wie folgende Beispiele lehren:

	Menge der Reinasche	
Winterweizen	1·97	Proc. der Trockensubstanz
Maiskörner	1·51	„ „ „
Sommergerste	2·60	„ „ „

	Gehalt der Reinasche an Eisenoxyd
Winterweizen	1·31 Proc.
Maiskörner	1·26 „
Sommergerste	0·97 „

Aus diesen Beispielen ist ersichtlich, dass die Samen der Gräser in der Trockensubstanz bedeutend weniger Eisen enthalten, als normal erwachsene Blätter.

Wenn ich nun Gramineensamen auf eisenfreier Unterlage im Lichte zur Entwicklung bringe, so muss ich offenbar in den ergrünenden Blättern der Keimlinge ein Materiale zur Chlorophyllgewinnung erhalten, welches ärmer an Eisen ist, als wenn ich normale, d. i. von im Boden wurzelnden Gräsern stammende Blätter benütze.

Ist der Gehalt an Chlorophyll in den ergrünten, eisenfrei gezogenen Maiskeimlingen ebensogross, als in den gewöhn-

lichen Grasblättern, so ist die Gefahr einer Verunreinigung des darzustellenden Chlorophylls mit Eisenverbindungen der Pflanzengewebe bei Benützung der ersteren offenbar geringer als bei Verwendung der letzteren.

Ich wählte zu meinen Versuchen Maiskeimlinge [1]), welche ich in Glasgefässen auf eisenfreiem Filterpapier im Lichte zog und deren Blätter intensiv grün waren. Die Blätter wurden mit destillirtem Wasser sorgfältig gewaschen, hierauf durch Zerreissen zerkleinert und in einem auf das sorgfältigste gereinigten Porzellanmörser unter Aufguss von 40procentigem Alkohol extrahirt. Das tiefgrüne Extract wurde abfiltrirt. Es ist wohl nicht nothwendig, besonders hervorzuheben, dass ich bei diesen Versuchen auf das sorgfältigste die Reagentien, Bechergläser, Trichter, Filter etc. reinigte, beziehungsweise prüfte und erst dann zu den Versuchen verwendete, wenn keine Spur von Eisen sich an oder in denselben nachweisen liess.

In dem mit etwas Salpetersäure entfärbten, mit Ammoniak neutralisirten und mit Salzsäure schwach angesäuerten Extracte konnte ich selbst nach starker Einengung im Wasserbade weder mit Rhodankalium, noch mit Blutlaugensalz die Gegenwart von Eisen erweisen. Wenn ich hingegen das Extract zum Trocknen im Wasserbade eindampfte und dann veraschte, so erhielt ich stets die Eisenreactionen. Diese Ergebnisse lassen indess höchstens vermuthen, dass im Chlorophyll Eisen enthalten ist. Denn da zahlreiche Eisenverbindungen existiren, die in Weingeist löslich sind, wie z. B. Eisenchlorid, phosphorsaures Eisenoxyd in salzsaurer Lösung etc., so kann noch immer angenommen werden, dass äusserst kleine Mengen von Eisenverbindungen, welche neben dem Chlo-

---

[1]) Wenn ich die Daten über die Asche und den Gehalt an Eisenoxyd, welche Wolff (l. c.) für Maisblätter und Maiskörner angibt, auf die Trockensubstanz umrechne, so erhalte ich folgende Zahlen. Grüne Blätter von im Boden wurzelnden Maispflanzen geben 0·1612, Maiskörner 0·0190 Procent Fe_2O_3. Es verhält sich somit die Menge Fe_2O_3 in getrockneten normalen Maisblättern zu der in trockenen Samen etwa wie 8·5 : 1. Die Trockensubstanz der ergrünten Keimlinge war indess noch etwas grösser als das Trockengewicht der Samen.

rophyll in den Pflanzengeweben vorkommen, in die weingeistige Rohchlorophylllösung übergegangen sind, und die ihrer geringen Quantität halber erst in der Asche erweislich wurden.

Ich habe nun weiter folgenden Weg behufs Ausschliessung von neben dem Chlorophyll auftretenden Eisenverbindungen eingeschlagen. Die Eisensalze werden von Benzol auch nicht in Spuren aufgenommen. Ich habe dieses Factum selbst constatiren müssen, da ich in der chemischen Literatur leider keine diesbezüglichen Angaben vorfinden konnte. Ich habe wässerige Lösungen von Eisenchlorid, essigsaurem und salpetersaurem Eisenoxyd und eine salzsaure Lösung von phosphorsaurem Eisenoxyd mit Benzol ausgeschüttelt, die klargewordenen Benzolschichten abgezogen, im Wasserbade eingedampft, hierauf den etwa gebildeten festen Rückstand durch salzsäurehaltiges Wasser in Lösung gebracht und mit Rhodankalium auf Eisenoxyd reagirt. Trotz der ausserordentlichen Empfindlichkeit dieses Reagens gelang es mir nicht, auch nur Spuren von Eisenrhodanid zu erhalten. Da ich die Ausschüttlung des Chlorophylls mittelst Benzol aus weingeistigen Rohchlorophylllösungen vorzunehmen hatte, behufs reinerer Darstellung des Chlorophylls, das Benzol aber im Weingeiste bis zu einem bestimmten Grade sich löst, so erschien es möglich, dass etwaige in Weingeist gelöste Eisenverbindungen mit dem Weingeist in's Benzol diffundirten. Der Versuch hat dies nicht bestätigt. Ich habe eine weingeistige Lösung von Eisenchlorid, ferner eine klare Mischung von Weingeist mit in Salzsäure gelöstem phosphorsaurem Eisenoxyd mit Benzol geschüttelt, das klar gewordene Benzol abgezogen und im Wasserbade zur Trockne verdampft. Im Rückstande liess sich auch hier keine Spur von Eisenoxyd durch Rhodankalium erkennen.

Auch Eisenoxydulverbindungen und Haloidsalze des Eisens gehen nach meinen Erfahrungen nicht einmal in Spuren in's Benzol über, wie ich durch Versuche mit Eisenvitriol und Eisenchlorür feststellte.

Eine sorgfältig bereitete Rohchlorophylllösung aus eisenfrei gezogenen Maiskeimlingen dargestellt, wurde mit Benzol geschüttelt. Das Chlorophyll ging in's Benzol über und

bildete so gelöst eine tiefsmaragdgrüne Flüssigkeit, während das Xanthophyll im Alkohol verblieb. Zweifellos enthielt die Chlorophylllösung sowohl als die Xanthophylllösung nebenher noch kleine Quantitäten anderer Verbindungen. Die grüne Benzolschichte wurde sorgfältig mit der Pipette abgenommen und in einer Platinschale am Wasserbade zur Trockne verdunstet. Vorsichtshalber wurde der Rückstand in Alkohol gelöst und auf Eisenoxydul- und Eisenoxydsalze geprüft, wobei jedoch kein positives Resultat erhalten wurde [1]). Nunmehr wurde wieder bis zur Trockne verdampft und die Substanz verascht. In dem sehr kleinen Quantum von Asche liess sich Eisen bestimmt nachweisen. Am prägnantesten gab sich das Eisen zu erkennen, wenn ich in folgender Weise zu Werke ging. Die Trockensubstanz des Chlorophylls wurde nicht vollständig verascht, sondern bloss bis zur beginnenden Veraschung verkohlt. Hierauf wurde die Kohle mit heisser, verdünnter Salzsäure ausgezogen, filtrirt, sorgfältig mit Wasser gewaschen, im Wasserbade eingedampft, sodann mit einer Spur von Salpetersäure oxydirt, neuerdings im Wasserbade behufs Entfernung der Salpetersäure eingedampft, in salzsäurehaltigem Wasser gelöst und mit Rhodankalium reagirt. Es stellte sich jedesmal eine unzweifelhafte Rothfärbung der Flüssigkeit, welche auf die Anwesenheit von Eisenoxyd schliessen lässt, heraus. Besonders stark fiel die Reaction aus, wenn ich das erhaltene Eisenrhodanid mit Aether ausschüttelte [2]).

Auf diese Weise erhielt ich häufig eine von Eisenrhodanid tiefroth gefärbte Aetherschichte. Indess brauchte ich in keinem einzigen Falle zu diesem Hilfsmittel zu greifen, da

---

[1]) Es sei hier bemerkt, dass nach meinen Beobachtungen Eisenoxydsalze in Chlorophylllösungen nicht existiren können; sie werden darin sofort zu Eisenoxydulsalzen reducirt. Versetzt man z. B. eine alkoholische Chlorophylllösung mit einer kleinen Menge von in Alkohol gelöstem Eisenchlorid, so lässt sich z. B. mit dem so ausserordentlich empfindlichen Rhodankalium keine Spur von Eisen finden, wohl aber bekömmt man nach Oxydation mit einer Spur Salpetersäure und Schütteln mit Weingeist sofort die prächtigste beim Erwärmen nicht verschwindende auf Eisenoxyd deutende Rothfärbung.

[2]) Vgl. Fresenius, Qual. Analyse 1874, pag. 148.

ich schon durch unmittelbare Einwirkung von Rhodonkalium auf meine Aschenlösungen die Rothfärbung erhielt. In jedem einzelnen Falle bekam ich auch durch gelbes Blutlaugensalz eine ausgesprochene Eisenreaction, welche sich in einer mehr oder minder deutlichen Blaufärbung der zu prüfenden Flüssigkeit zu erkennen gab. Auch konnte ich das Eisen stets und sicher, wenngleich nicht immer durch eine so intensive Reaction nachweisen, wenn ich das Chlorophyll vollständig veraschte.

Weitere Versuche, welche ich mit Chlorophyllextracten anderer Pflanzen (Raigras, Gerste, Spinat) anstellte, lieferten dasselbe Resultat. Die tiefgrünen durch Ausschüttlung mit Benzol erhaltenen Chlorophylllösungen gaben, im Wasserbade eingedampft und mit Alkohol gelöst, k e i n e Eisenreaction. Wenn ich aber neuerdings eindampfte und die mineralischen Rückstände auf Eisen prüfte, so liess sich letzteres stets nachweisen.

Die Eisenreaction war stets deutlich, doch liess sie immer nur auf kleine Mengen von Eisen schliessen. Dies ist wohl begreiflich, wenn man das starke Tinctionsvermögen des Chlorophylls und den Umstand bedenkt, dass ich zu einer Probe von der tiefgrünen Benzollösung etwa bloss 80—100 Cubik-Cent. verwendete. Die Menge des verwendeten Chlorophylls ist somit stets eine kleine gewesen, welche nur eine geringe Eisenmenge bei der Reaction vermuthen liess.

Im Ganzen wurden zwanzig Versuche gemacht, alle mit den gleichen Vorsichten; alle ergaben das gleiche Resultat.

Da nach den oben mitgetheilten Versuchen das Eisen in den Chlorophylllösungen nicht nachweisbar ist, wohl aber in der Chlorophyllasche, da ferner in der Asche des Benzolchlorophylls stets Eisen auf das sicherste nachgewiesen werden konnte, aber Eisensalze nicht einmal spurenweise in's Benzol übergehen; so kann auf das Bestimmteste ausgesagt werden, dass in den Chlorophylllösungen ein eisenhaltiger Körper vorkömmt, welcher nicht als ein Eisensalz angesehen werden kann. Es muss dies eine Verbindung sein, in welcher das Eisen durch die gewöhnlichen Reactionen nicht nachweisbar ist, die also das Eisen ebenso versteckt enthält, wie eine Ferrocyanverbindung.

Dass diese eisenhaltige Verbindung ein organischer Körper ist, kann wohl keinem Zweifel unterliegen; und ebenso dürfte es als gewiss anzunehmen sein, dass das Chlorophyll selbst diese organische Eisenverbindung ist.

II.

Steht das Chlorophyll mit dem Etiolin in genetischem Zusammenhange?

Etiolirte Keimlinge enthalten einen eigenthümlichen gelben Farbstoff, welcher von Pringsheim[1]) mit dem Namen Etiolin bezeichnet wurde. Es ist dies offenbar derselbe Farbstoff, welchen früher Sachs[2]) als Chlorophyllchromogen oder Leukophyll bezeichnete. Was Böhm[3]) als Chlorophor ansprach, nämlich ein Chromogen, welches in noch unergrünten Chlorophyllkörnern vorkömmt und mit Schwefelsäure eine spahngrüne Farbe annimmt, ist gleichfalls mit dem Etiolin zu identificiren.

In seiner bekannten Arbeit über die Chlorophyllfarbstoffe hat G. Kraus den Nachweis zu führen gesucht, dass jener constante gelbgefärbte Begleiter des Chlorophylls, der durch ein bestimmtes Absorptionsspectrum ausgezeichnet ist und den er mit dem Namen Xanthophyll belegte, auch in etiolirten Pflanzentheilen, ferner in vielen gelbgefärbten Blüthen, Früchten und Samen auftritt[4]). Für G. Kraus ist der gelbe Farb-

---

[1]) Untersuchungen über das Chlorophyll. Monatsberichte d. Berliner Akademie der Wissenschaften 1874.

[2]) Ueber das Vorkommen eines farblosen Chlorophyllchromogens in Pflanzentheilen, welche fähig sind, grün zu werden. Lotos 1859.

[3]) Sitzungsberichte d. Wiener Akademie d. Wissenschaften Bd. 37 (1859), pag. 477.

[4]) l. c., pag. 114 ffd.

stoff etiolirter Pflanzentheile also nichts Anderes als das Xanthophyll. Hingegen will Pringsheim einen Unterschied im Absorptionsspectrum von Xanthophyll und Etiolin aufgefunden haben.

Jedenfalls stehen sich die beiden Farbstoffe Xanthophyll (Kraus) und Etiolin, falls sie nicht identisch sein sollen, in allen Eigenschaften ausserordentlich nahe und haben nicht nur die Farbe und Löslichkeitsverhältnisse, sondern auch eine sehr präcise Reaction miteinander gemein. Sie werden nämlich durch Einwirkung von Schwefelsäure oder Salzsäure spahngrün bis blau gefärbt. Bei genügender Zeitdauer der Einwirkung tritt die Reaction immer ein, je nach der Menge der Säure in kürzerer oder längerer Zeit, was von Askenasy[1]), mit Unrecht, bestritten wurde. Wie schon G. Kraus hervorgehoben hat, ist bei dieser Reaction die Salzsäure der Schwefelsäure vorzuziehen. Wie ich gefunden habe, tritt die Grün- bis Blaufärbung des Etiolins oder Xanthophylls durch Säuren in folgender Weise am schärfsten hervor. Man löst den Farbstoff in Aether, welcher, wie schon Askenasy angab, denselben viel rascher auflöst, als Alkohol, und schüttelt die Lösung mit Salzsäure. Die vom Aether sich rasch sondernde Salzsäureschichte nimmt eine grünblaue, schliesslich indigoblaue Farbe an.

Auf die Streitfrage, ob das Etiolin vom Xanthophyll verschieden ist, wie Pringsheim will, oder ob diese Farbstoffe identisch sind, wie G. Kraus behauptet, gehe ich hier nicht ein; muss aber gestehen, dass ich auf Grund der von mir angestellten spectroskopischen Vergleiche beider und der übereinstimmenden Reaction mit Salzsäure zur Kraus'schen Ansicht hinneige. Wenn ich im Nachfolgenden von Etiolin spreche, so geschieht es mehr der Bequemlichkeit des Ausdruckes halber, als weil ich es vom Xanthophyll für verschieden halte.

Wie nun von Sachs[2]) zuerst gezeigt wurde, tritt häufig in vorgebildeten Chlorophyllkörnern etiolirter Keimlinge ein durch

---

[1]) Bot. Zeitung 1867, p. 229. Vergl. auch G. Kraus l. c., p. 112.
[2]) l. c., pag. 6.

Schwefelsäure sich spahngrün färbendes Chromogen auf. Es ist dies, wie schon bemerkt, nichts Anderes, als das Etiolin.

Durch diese Beobachtung wird die Annahme nahegelegt, dass das Etiolin mit dem Chlorophyll im genetischen Zusammenhange stehe. Sachs war meines Wissens der Erste, welcher diesen Zusammenhang, wenn auch nur als Vermuthung, aussprach. Ihm folgten später Fremy [1]) und G. Kraus [2]). Mit Sicherheit ist die genetische Beziehung dieser beiden Körper auch von diesen Forschern nicht nachgewiesen worden.

Bevor ich meine eigenen Untersuchungen über die eben präcisirte Frage darlege, will ich die Argumente, auf welche Sachs, Fremy und G. Kraus ihre Annahme über das Hervorgehen des Chlorophylls aus dem Etiolin stützen, in Kürze darlegen.

Sachs ist anfänglich geneigt gewesen, den spahngrünen Farbstoff, welcher aus dem Etiolin der vorgebildeten Chlorophyllkörner durch Schwefelsäure entsteht, für das Chlorophyll selbst zu nehmen [3]). Später hat Sachs die genetische Beziehung zwischen Etiolin und Chlorophyll darin zu finden geglaubt, dass er annahm: das erstere erleide durch Schwefelsäure genau dieselbe Veränderung, wie letzteres, da etiolirte Chlorophyllkörner (oder Protosplasma, welches am Lichte zu ergrünen befähigt ist) nach seiner Beobachtung, mit Schwefelsäure behandelt, vollständig dieselbe grüne Farbe annehmen, wie im Lichte ergrünte und mit dieser Säure versetzte Chlorophyllkörner [4]).

In der einige Jahre später erschienenen Experimental-Physiologie [5]) hat sich Sachs über diesen Gegenstand sehr vorsichtig ausgedrückt. Es wird wohl das Factum angeführt, dass etiolirte Chlorophyllkörner mit Schwefelsäure genau dieselbe Farbe annehmen, wie ergrünte Chlorophyllkörner; allein es wird daraus nicht mehr die Annahme abgeleitet, dass das Chlorophyll aus dem Etiolin hervorgeht.

---

[1]) Compt. rend. T. 50. (1860), p. 410 ffd.

[2]) l. c., pag. 114.

[3]) Vgl. l. c., pag. 14.

[4]) S. hierüber Flora 1862, pag. 186.

[5]) pag. 9

Aus dem Verhalten des Etiolins gegen Schwefelsäure lässt sich für die Beziehung des ersteren zum Chlorophyll in der That nichts Sicheres ableiten. Es ist wohl sehr gut möglich, ja, wie ich glaube, im hohen Grade wahrscheinlich, dass die aus dem Etiolin durch Einwirkung von Schwefelsäure entstehende blaugrüne Verbindung in chemischer Beziehung dem aus dem Chlorophyll bei ähnlicher Behandlung entstehenden blaugrünen Körper, ja wohl auch dem Chlorophyll selbst nahesteht; zunächst, in so lange wir die chemische Zusammensetzung des Etiolins und des Chlorophylls nicht kennen, darf uns die Aehnlichkeit in der Farbe nur als eine rein äusserliche erscheinen, welche auf die genetische Beziehung zwischen den beiden genannten Körpern noch nicht schliessen lässt.

Dass das spectroskopische Verhalten des aus dem Etiolin durch Schwefelsäure (oder Salzsäure) hervorgehenden Körpers von jenem des Chlorophylls ganz verschieden ist, indem ersterer keine Absorptionsstreifen, sondern eine continuirliche Absorption eines Theiles des rothen und violetten Spectrums zeigt, ist schon von G. Kraus[1]) gezeigt worden.

Dass aber auch aus dem Chlorophyll durch die Einwirkung von Schwefelsäure nicht etwa ein Körper hervorgeht, welcher mit dem aus dem Etiolin entstehenden identificirt werden könnte, geht aus folgender Beobachtung hervor. Wenn ich eine ätherische Xanthophylllösung mit concentrirter Salzsäure ausschüttle, so geht in die letztere ein indigoblauer Körper über, welcher in der Farbe vollkommen übereinstimmt mit jenem blauen Körper, der sich auf dieselbe Weise aus einer ätherischen Chlorophylllösung abscheiden lässt. Schüttle ich nämlich letztere mit concentrirter Salzsäure, so tritt in dieselbe gleichfalls ein indigoblauer Körper über. Obschon nun diese beiden blauen (oder bei unvollständiger Ausschüttlung der gelben in den Aether übertretenden Substanz blaugrünen bis grünen) Salzsäurelösungen in der Farbe genau miteinander übereinstimmen, so unterscheiden sie sich doch auf das Bestimmteste dadurch von einander, dass die aus

[1]) l. c., pag. 95, 102, 114.

Chlorophyll dargestellte Lösung intensive rothe Fluorescenz zeigt, die aus Etiolin bereitete aber nicht.

Fremy's Argumente für die Entstehung des Chlorophylls aus Etiolin fallen mit denjenigen zusammen, die Sachs zur Geltung zu bringen suchte, später aber, wie es scheint, ganz fallen gelassen hat. Fremy[1]) beobachtete etwa ein Jahr später als Sachs, dass etiolirte Blätter mit Säure (er benützte zum Versuche entweder wässerige Salzsäure oder Salzsäuredampf) grün werden, und schloss aus der Aehnlichkeit der Farbe solcher Blätter mit natürlich ergrünten auf das Hervorgehen des Chlorophylls aus Etiolin[2]).

Kraus[3]) sprach den Gedanken aus, dass es durch quantitative Bestimmung des Etiolins vor und nach Eintritt der Chlorophyllbildung gelingen könne, die in Rede stehende Frage zu lösen. Seine Mittheilungen hierüber beschränken sich auf Folgendes: „Wenn nämlich beim Ergrünen der neue Bestandtheil (Kyanophyll) auf Kosten des vorhandenen (Xanthophyll) entsteht, so wird, vorausgesetzt, dass der letztere nicht sofort sich neuerzeugt, eine Differenz in der Menge des vorhandenen gelben Farbstoffes nach dem Ergrünen gegenüber der ursprünglichen Menge vorhanden sein. Versuche, die ich in der Art anstellte, dass ich die Menge des gelben Farbstoffes in einem bestimmten Trockengewichte etiolirter Gerstenblätter vor und nach dem Ergrünen bestimmte, haben in der That eine ansehnliche Abnahme nach dem Ergrünen ergeben. Da mir aber die Versuche noch nicht genau genug erschienen, und fortgesetzt werden sollen, so unterlasse ich, hier näher darauf einzugehen."

Da Kraus nach Ablauf von mehr als vier Jahren seit Publication seiner werthvollen, hier oft genannten Arbeit, über die Fortsetzung seiner diesbezüglichen Versuche, so viel mir bekannt ist, nichts weiter verlauten liess, so wird es mir der geschätzte Autor nicht als ein unbescheidenes Vorgreifen

---

[1]) Compt. rend. T. 50. (1860), pag. 140 ffd.

[2]) Vgl. hierüber auch G. Kraus l. c., pag. 113 ffd.

[3]) l. c., pag. 114.

auslegen, wenn ich meine einschlägigen Erfahrungen mittheile, und zwar, wie ich hoffe, umsoweniger, als ich in der vorliegenden Untersuchung derartigen Versuchen gar nicht aus dem Wege gehen konnte.

Ich ging in folgender Weise zu Werke. Keimlinge bestimmter Pflanzen, die ich unter völlig gleichen Verhältnissen, u. A. in völliger Dunkelheit aufzog, wurden z. Th. ergrünen gelassen, z. Th. direct auf Etiolin geprüft. Die unergrünten Keimlinge wurden in zwei Partien *a* und *b* getheilt. Von *a* bestimmte ich das Lebendgewicht und zerdrückte die Keimlinge im Mörser unter fortwährender Einwirkung von 45proc. Alkohol, bis die letzte Spur von Etiolin ausgezogen war. Die Etiolinlösung wurde sorgfältig aufgesammelt und dunkel gestellt. Von *b* wurde das Frischgewicht und sodann die Trockensubstanz ermittelt. Es war dann wohl erlaubt von der Trockensubstanz des Materiales *b* auf die von *a* zurückzuschliessen. Auch die ergrünten Keimlinge wurden in gleicher Weise auf die Trockensubstanz geprüft. Eine Partie frisch ergrünter Keimlinge behandelte ich hierauf so lange mit Weingeist, bis alles Chlorophyll und Xanthophyll (Etiolin) ausgezogen war und schüttelte aus der weingeistigen Rohchlorophylllösung das Chlorophyll durch Benzol vollständig aus.

Ich erhielt auf diese Weise zwei Xanthophylllösungen, eine aus den etiolirten, eine aus den später ergrünten Keimlingen. Jede dieser Lösungen wurde mit Alkohol so weit verdünnt, bis beide für gleiche Schichtendicken in der Färbung völlig miteinander übereinstimmten. Ich ging hiebei in der sorgfältigsten Weise zu Werke und nahm erst dann eine völlig gleiche Tinction der beiden Lösungen an, nachdem ich mich überzeugte, dass bei mehrfacher Veränderung der Schichtendicke die Färbung beider Lösungen völlig gleich erschien. Es geschah dies zumeist in der Art, dass ich die zu prüfenden Lösungen in zwei gleichweite cylindrische oder prismatische Gefässe brachte und zunächst so die Flüssigkeiten verglich, später die Flüssigkeitshöhen abglich und durch Beobachtung von oben die Färbung der Flüssigkeiten neuerdings

prüfte. Nachdem die Flüssigkeiten auf völlig gleiche Färbung gebracht waren, durfte ich ihren procentischen Gehalt an Etiolin als gleich ansehen. Ich konnte nunmehr durch Vergleich der Flüssigkeitsvolumina auf ihren relativen Gehalt an Etiolin schliessen. Es ist selbstverständlich, dass ich die Flüssigkeitsvolumina noch auf gleiches Lebendgewicht, beziehungsweise gleiche Trockensubstanz umzurechnen hatte.

Ein Beispiel möge den Gang des Versuches veranschaulichen.

Es wurden zum Versuche Gerstenkeimlinge ein und derselben Aussaat genommen. Die Keimlinge waren im Finstern bei einer Temperatur von 12—15° C. aufgezogen worden. Die Blätter, lebhaft gelb gefärbt, hatten die Scheiden bereits durchbrochen und überragten dieselben um 3—4 Centim. Die zum Versuche zu benützenden Triebe wurden knapp über dem Reste der Frucht abgeschnitten, auf Filterpapier ausgelegt und behufs Entfernung des adhärirenden Wassers mit Filterpapier abgetrocknet. Hierauf wurden 120 Keimlinge ausgewählt, zerschnitten und auf Trockensubstanz geprüft. Die Keimlinge hatten ein Lebendgewicht von 9·15 Grm., völlig getrocknet wogen sie 0·833 Grm., was einer Trockensubstanz von 9·11 Proc. entspricht. Weitere 120 Keimlinge, welche im frischen Zustande 9·21 Grm. wogen, und von denen ich nun annehmen durfte, dass sie gleichfalls eine Trockensubstanz von 9·11 Proc. hatten, wurden mit 45 Proc. Alkohol erschöpft. Ich erhielt nahezu 300 Cub.-Cent. Etiolinlösung (I), welche für den Vergleich mit der zweiten Etiolinlösung, die aus den ergrünten Keimlingen bereitet werden sollte, aufbewahrt wurde.

Nachdem ich die für die Herstellung der ersten Etiolinlösung nöthigen Keimlinge ausgewählt hatte, stellte ich den Rest der Aussaat in's Gaslicht, beseitigte aber früher noch die Reservestoffe der Pflänzchen durch vorsichtiges Ausdrücken der stark erweichten Frucht[1]). Im Gaslichte ergrünten die

[1]) Bei allen weiteren Versuchen über das partielle Verschwinden des Etiolins bei der Chlorophyllbildung gebrauche ich diese Vorsicht, um die Neubildung des Etiolins beim Ergrünen möglichst hintanzuhalten. Die vollständige Entfernung der Reservestoffe gelingt leicht und bei einiger Vorsicht ohne jede Beschädigung des Keimlings.

Keimlinge nach drei Stunden ziemlich lebhaft. Der Gasdruck betrug 15 Millim. Wassersäule, die Entfernung der Flamme von den Keimlingen etwa 2·5 Met., die Temperatur des Versuchsraumes 16 bis 18° C. Hierauf wurden 120 ergrünte Keimlinge in gleicher Weise auf Trockensubstanz geprüft, wie dies mit den etiolirten geschah. Ich erhielt hier 10·01 Proc. Trockensubstanz. Nunmehr wurden wieder 120 über dem Fruchtreste abgeschnittene Keimlinge gewogen — ihr Lebendgewicht betrug 8·99 Grm. — und so lange mit Weingeist extrahirt, bis jede Spur von Gelb- oder Grünfärbung aus dem Materiale verschwand. Ich erhielt so etwa 350 Cub. Cent. einer grüngelben weingeistigen Rohchlorophylllösung, welche ich nun so lange mit Benzol ausschüttelte, bis alles Chlorophyll aus der Etiolinlösung verschwunden war.

Die so erhaltene gelbe weingeistige Lösung (II) wurde nun, gleich der Etiolinlösung I, so lange mit Weingeist verdünnt, und in Betreff der Tinction in der oben angegebenen Weise geprüft, bis die Färbungen von I und II miteinander übereinstimmten.

Das Volum der Etiolinlösung I betrug 621 Cub.-Cent., das der Etiolinlösung II 576 Cub.-Cent.

Da die Trockensubstanz der zur Darstellung der Lösung I dienlichen Pflänzchen sich auf 0·838 Grm., hingegen die, welche sich auf das zur Darstellung der Lösung II benützte Rohmateriale bezieht, 0.899 Grm. berechnet, so stellt sich das auf gleiche Trockensubstanz (1 Grm.) bezogene Volumsverhältniss der beiden Lösungen wie folgt:

$$\text{Lösung I} : \text{Lösung II} = 741 : 640$$

Dieses Verhältniss entspricht aber einer Abnahme des Etiolingehaltes beim Ergrünen von etwa 13 Proc.

Durch diese Methode wurde ich in den Stand gesetzt zu zeigen, dass in der That das Chlorophyll aus dem Etiolin (Xanthophyll) hervorgeht. Der Nachweis des Factums gelingt desto leichter, je schneller das Ergrünen vor sich geht. Ich kann mir dies nur unter der Annahme erklären, dass bei der Erzeugung des Chlorophylls die Neubildung des Xanthophylls nicht gleichen Schritt hält und somit bei kurzer Dauer des

Versuchs die zur Chlorophyllbildung verwendete Xanthophyllmenge desto deutlicher in Erscheinung tritt.

Nachdem ich oben die Methode der Xanthophyllbestimmung vor und nach dem Ergrünen genugsam geschildert habe, kann ich mich in betreff der weiteren Versuche kurz fassen.

Etiolirte Gerstenkeimlinge wurden in einer Entfernung von 1·5 Meter der Beleuchtung einer constant brennenden Gasflamme ausgesetzt. Der Gasdruck betrug 13·5 Millim. Wassersäule, die Temperatur des Versuchsraumes 15·5—15·8° Cels. Innerhalb vier Stunden ergrünten die Keimlinge ziemlich lebhaft. Vom Xanthophyll erschienen 14·5 Proc. verschwunden.

Etiolirte Gerstenkeimlinge derselben Aussaat wurden gleichfalls in einer Entfernung von 1·5 Meter von einer Gasflamme aufgestellt, die jedoch bloss unter einem Drucke von 10 Millim. brannte. Die Temperatur des Versuchsraumes betrug 15·1—15·3° C. Nach etwa achtstündiger Einwirkung des Lichtes waren die Keimlinge lebhaft grün geworden. Der Schwund an Etiolin betrug 9·8 Proc.

Mit Keimlingen derselben Pflanze und derselben Aussaat nahm ich Ergrünungsversuche bei einer Temperatur von 13·8—14·2° C. vor unter Anwendung einer Flamme, welche 1·5 Meter von den Keimlingen entfernt, unter einem Drucke von bloss 3·5 Millim. Wassersäule brannte. Nach 22 Stunden stellte sich ein lebhaftes Ergrünen ein. Bei der hierauf vorgenommenen Bestimmung des Xanthophylls erschien bloss ein Verlust von etwa 5 Proc. dieser Substanz. Diese geringe Abnahme an Xanthophyll wird durch die lange Dauer des Versuchs erklärbar; es ist anzunehmen, dass mittlerweile wieder Xanthophyll neugebildet wurde.

Von der Richtigkeit dieser Annahme überzeugte ich mich durch mehrere Versuche, bei welchen den Keimlingen die noch in ziemlicher Menge vorhandenen Reservestoffe nicht genommen wurden, also noch reichliches Materiale zur Neubildung von Xanthophyll vorhanden war. Es wurde im Uebrigen genau so wie im zuletztbeschriebenen Versuche verfahren. Es trat auch hier erst nach 22stündiger Dauer des Versuches

lebhaftes Ergrünen ein. Hier ergaben sich noch geringere Differenzen zwischen der Xanthophyllmenge der etiolirten Keimpflanzen und dem Xanthophyll der ergrünten Versuchspflänzchen; ja in einzelnen Fällen war sogar die Xanthophyllmenge am Ende des Versuches noch um einige Procent grösser als vor demselben; eine Erscheinung, die ich mir nicht anders, als durch die Annahme erklären kann, dass hier eine Neubildung von Xanthophyll neben der Chlorophyllerzeugung stattgefunden hat.

Ich leite aus allen diesen Versuchen ab, dass das Etiolin (Xanthophyll) die Muttersubstanz des Chlorophylls ist.

Wenn dieses Ergebniss richtig ist, so entsteht die Frage, wieso es kömmt, dass das Chlorophyll in der Pflanze stets von grossen Mengen Xanthophyll begleitet ist, und warum nicht nach länger andauernder Chlorophyllbildung schliesslich alles Xanthophyll in Chlorophyll umgebildet wird.

Von vorneherein ergeben sich bereits mehrere Möglichkeiten. Es ist möglich, ja wahrscheinlich, dass die Xanthophyllbildung im Dunklen fortschreitet, während, wie wir wissen, in der Regel die Chlorophyllbildung nur im Lichte vor sich geht. Es ist ferner denkbar, dass die Entstehung des Chlorophylls aus dem Xanthophyll, abgesehen von der Lichtwirkung, unter uns noch unbekannten Bedingungen vor sich geht, welche in der Pflanze nicht fortwährend erfüllt werden, und die Umsetzung des Xanthophylls in Chlorophyll begrenzen. Man darf hier auch der Zerstörung des Chlorophylls im lebenden Organismus nicht vergessen, z. B. der Zerstörung bei hoher Lichtintensität. Es wird, wie ich nachgewiesen habe [1]), bei hoher Lichtstärke nicht nur Chlorophyll, sondern auch Xanthophyll zerstört, aber in viel geringerem Maasse. Dass aber das Chlorophyll in schnell wachsenden Pflanzentheilen auch im Dunklen in überraschend starker Weise zerstört wird, davon habe ich mich durch folgende Versuche überzeugt. Etiolirte Gerstenkeimlinge wurden im

[1]) Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll. Sep.-Ab., pag. 27 ffd.

Lichte ergrünen gelassen, und von einem gewogenen Quantum das Gemenge von Chlorophyll und Xanthophyll vollkommen ausgezogen. Ein anderer Theil der ergrünten Keimlinge wurde hierauf durch 24 Stunden im Dunklen bei einer Temperatur von 17—19° C. stehen gelassen. Von diesen noch schön grün gefärbten Pflanzen wurde ein Theil gewogen und bis zur Erschöpfung des Chlorophylls und Xanthophylls mit Alkohol behandelt. Es wurden nun sowohl die Xanthophyllösungen als die Chlorophylllösungen auf gleiche Färbung gebracht, die Volumina bestimmt, und auf gleiche Trockensubstanz des Versuchsmateriales reducirt. Es ergab sich hiebei eine Chlorophyllabnahme von 19 Proc.

Schon die Zerstörung des Chlorophylls im Lichte und im Finstern und die zweifellos auch im Finstern fortschreitende Neubildung des Xanthophylls, der übrigen hier noch in Erwägung zu ziehenden Möglichkeiten nicht zu gedenken, vermögen uns, wenigstens einigermassen die Thatsache zu erklären, dass neben dem Chlorophyll stets auch immer Xanthophyll in den grünen Pflanzentheilen vorkömmt.

Ich möchte hier nur noch ganz kurz erwähnen, dass nach meinen Untersuchungen die Xanthophyllbildung im Lichte nicht rascher als im Dunklen vor sich zu gehen scheint. Ich habe nämlich entgegen der Beobachtung Böhm's, welcher angibt, dass beim Ergrünen der Kartoffel die Bildung von Xanthophyll (Chlorophor) unterbleibt und dieser Körper in der Kartoffel nicht vorkäme [1]), gefunden, dass die Kartoffel stets und sehr häufig reichlich Xanthophyll führt, namentlich wenn sie längere Zeit in der Wärme (bei 14—18° C.) aufbewahrt wird. Sie gibt dann gelbe weingeistige Auszüge, die spectroskopisch mit dem Xanthophyll übereinstimmen. Die ätherischen Auszüge mit Salzsäure geschüttelt, lassen in die letztere eine grünblaue später indigoblau erscheinende Substanz übertreten. Die ätherischen oder alkoholischen Auszüge aus Kartoffeln unterscheiden sich in nichts von Xanthophylllösungen und es lässt sich demnach aussagen, dass in der Kartoffel Xanthophyll

[1]) Sitzungsber. der Wiener Akademie der Wiss. Bd. 37, pag. 474.

vorkommt. Vor dem Ergrünen der Kartoffel stellt sich stets reichlich Xanthophyll ein. Da nun bekanntlich selbst bei Sonnenbeleuchtung die Chlorophyllbildung in der Kartoffel sehr lange auf sich warten lässt, so hat man in derselben offenbar ein gutes Materiale zur Prüfung der Frage, ob die Xanthophyllbildung durch das Licht begünstigt wird.

Frische xanthophyllarme Kartoffel, welche nach der Ernte im Keller bei einer Temperatur von 6—8° C. gelegen hatten und auf dem Querschnitt noch ganz weisslich waren, wurden theils im diffusen Lichte, theils im Dunkeln aufbewahrt und zwar bei einer Temperatur von 15—18° C. Nach etwa 8 Tagen waren sowohl die im Finstern als im Lichte gelegenen Knollen merklich gelb geworden. An den im Lichte gelegenen war nicht eine Spur von Chlorophyll zu entdecken. Ich habe nun zunächst, nach der oben angegebenen Methode geprüft, ob im Vergleiche zur Trockensubstanz eine Vermehrung der Xanthophyllmenge eingetreten sei. Ich fand eine Zunahme von etwa 30—150 Proc. und constatirte ferner, dass die im Lichte in der Kartoffel entstandene Xanthophyllmenge mit der im Finstern gebildeten übereinstimmte. —

Ich übergehe nun zu ganz anderen Versuchen, die indess mit den bisher mitgetheilten in der gleichen Absicht angestellt wurden: zu prüfen, ob ein genetischer Zusammenhang zwischen Xanthophyll und Chlorophyll existirt.

Es wurde oben der Eisengehalt des Chlorophylls nachgewiesen. Wenn das Chlorophyll aus dem Xanthophyll hervorgeht, so sind zwei Möglichkeiten vorhanden: es ist entweder das Xanthophyll selbst auch schon ein eisenhaltiger Körper, oder er ist eisenfrei und es wird erst bei der Entstehung des Chlorophylls aus dem Xanthophyll Eisen in's Molekül aufgenommen. Ich habe nun durch genaue Versuche ermittelt, dass auch das Xanthophyll (inclus. Etiolin) in demselben Sinne wie das Chlorophyll eisenhältig ist und glaube in dieser Auffindung einen Beweis mehr für meine Ansicht zu haben, dass das Chlorophyll aus dem Xanthophyll hervorgeht.

Es ist schon einmal die Ansicht ausgesprochen worden, dass das Chlorophyll in der Pflanze aus einer eisenhaltigen Verbindung entsteht, ohne dass man jedoch hiefür bestimmte Thatsachen beibrachte. Es wurde nämlich von Risler[1]) angegeben, dass im Zellsafte ergrünungsfähiger Gewebe eine Eisenoxydul - Verbindung vorkömmt, welche beim Entstehen des Chlorophylls in Eisenoxyd übergeführt wird. Die Unrichtigkeit dieser Aussage ergibt sich aus folgenden von mir constatirten Thatsachen, die ich schon oben (p. 23, Anmerkung) berührte. Wenn ich nämlich eine Chlorophylllösung mit einer kleinen Menge eines Eisenoxydsalzes versetze, so gelingt es mir nicht mehr, das Eisen als Oxyd in diesem Gemische nachzuweisen, nicht einmal durch die so empfindliche Reaction mit Rhodankalium; füge ich nun eine Spur von Salpetersäure zur Oxydation hinzu, so bekomme ich auf Zusatz des zuletzt genannten Reagens sofort eine blutrothe, vom entstandenen Eisenrhodanid herrührende Färbung. Das Chlorophyll hat mithin das Eisenoxyd sofort reducirt, und es lässt sich hieraus folgern, dass in Chlorophylllösungen keine Eisenoxyd-Verbindung bestehen kann[2]). Die Ansicht Risler's ist mithin unrichtig. Ich füge dem weiter noch hinzu, dass auch in Xanthophylllösungen keine Eisenoxyd - Verbindungen bestehen können, indem auch in ihnen das (selbstverständlich in kleinen Mengen zugeführte) Eisenoxyd eines löslichen Salzes verschwindet, und dann entweder direct als Eisenoxydulsalz oder nach Oxydation mit Salpetersäure als Eisenoxydsalz nachgewiesen werden kann.

Ich habe durch folgende Versuche den Eisengehalt des Xanthophylls festgestellt.

Etiolirte Gerstenkeimlinge wurden mit Weingeist übergossen, bis derselbe die gelben Pflänzchen völlig durchtränkte, hierauf liess ich den Weingeist ablaufen, goss Benzol auf und zerdrückte die Keimlinge im Mörser. Auf diese Weise gelang

---

[1]) Gmelin, Handbuch der Chemie, 4. Aufl., 4. Bd.

[2]) Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, dass die Tinction der Chlorophyllkörper nur durch Chlorophyll lösungen hervorgerufen wird.

es mir, eine Lösung des Etiolins in Benzol zu erhalten. Nun habe ich aber nachgewiesen, dass Eisensalze nicht einmal spurenweise in's Benzol übergehen, es konnte somit eine Verunreinigung des Etiolins durch in den Geweben der Gerstenpflänzchen vorhandene Eisensalze nicht stattfinden. Der Etiolinauszug wurde nun in einer Platinschale eingedampft, der Rückstand verascht, mit salzsäurehaltigem Wasser ausgezogen und auf Eisen geprüft. Sowohl die Reaction mit Rhodankalium, als die mit gelbem Blutlaugensalz glückte. Der Versuch wurde unter den schon oben (p. 21) geschilderten Vorsichtsmassregeln mehrmals und stets mit demselben Erfolge wiederholt.

Ergrünte Gerstenkeimlinge wurden mit Alkohol erschöpft und aus der grünen Lösung das Benzol ausgeschüttelt und letztere Procedur so lange fortgesetzt, bis kein Chlorophyll, sondern Xanthophyll in's Benzol überging. Mit dieser Lösung des Xanthophylls in Benzol wurde so wie im früheren Versuche verfahren. Es liess sich auch hier in der rückbleibenden Asche Eisen auf das Sicherste nachweisen.

Rohchlorophylllösungen von Mais und Spinat wurden mit Benzol vom Chlorophyll befreit, die Xanthophylllösung im Wasserbade zur Trockene eingedampft und mit Benzol ausgezogen. Es verblieb ein bräunlicher Rückstand, in Lösung ging ein goldgelber alle Eigenschaften des Xanthophylls aufweisender Körper. In der Asche desselben fand ich Eisen, sowohl bei Mais als Spinat.

Auch in dem aus Kartoffeln durch Weingeist ausgezogenen Xanthophyll, welches ich später in Benzol löste, konnte ich mit aller Sicherheit nach der Veraschung Eisen nachweisen.

Wenn ich grössere Mengen (80—100 Cub. - Cent.) von concentrirten Xanthophylllösungen anwendete, so gelang es stets direct durch Rhodankalium oder gelbes Blutlaugensalz die Gegenwart des Eisens zu constatiren. Aber selbst bei Verwendung kleiner Mengen (20—30 Cub. - Cent.) gelang es mir stets, durch Ausschüttlung des mit Rhodankalium versetzten Aschenauszugs mit Aether Eisenrhodanid zu bekommen und auf diese Weise den Eisengehalt der Asche zu constatiren.

Es ist somit gewiss, dass in den Benzol-Xanthophyll-lösungen eine (organische) Eisenverbindung vorkömmt, und die Annahme erscheint berechtigt, dass das Xanthophyll selbst diese organische Eisenverbindung ist.

Der Eisengehalt des Chlorophylls und des Xanthophylls lassen eine genetische Beziehung dieser beiden Körper annehmen; die Thatsachen widersprechen nicht nur nicht den früher mitgetheilten Versuchen über das Hervorgehen des Chlorophylls aus dem Xanthophyll, sondern bekräftigen sie vielmehr.

III.

Ermöglichen die dunklen Wärmestrahlen die Entstehung des Chlorophylls?

Diese Frage ist in neuerer Zeit zuversichtlich bejaht worden, und zwar vornehmlich auf Versuche hin, welche von Guillemin[1]) durchgeführt wurden. Er stellte etiolirte Gerstenkeimlinge in kleinen Distanzen von einander im objectiven Spectrum auf, trennte die Antheile des Spectrums durch Schirme und benützte andere Schirme zum Abhalten des „athmosphärischen Lichtes". Wegen der bekannten beinahe vollständigen Durchlässigkeit des Steinsalzes für dunkle Wärme wurde ein Prisma aus dieser Substanz zum Entwerfen des Spectrums verwendet. Guillemin machte im Ganzen bloss zwei Versuche, beide im Monate August, sie währten von 8 Uhr Morgens bis 5 Uhr Nachmittags. Innerhalb dieser Zeit erfolgte das Ergrünen der Gerstenkeimlinge, und zwar nicht nur im leuchtenden Theile des Spectrums, sondern auch im dunklen Wärmespectrum. Am reichlichsten entwickelte sich das Chlorophyll jener Gerstenkeimlinge, welche in Gelb-Orange standen, von hier ab

[1]) C. M. Guillemin. Production de la chlorophyll etc. in Annales des sc. nat. 4. sér. T. VII. (Bot.) 1859, pag. 154 ffd.

nahm gegen Roth zu die chlorophyllerzeugende Kraft der Strahlen immer mehr und mehr ab, ohne aber an der Grenze des sichtbaren Spectrums schon gänzlich zu verlöschen. Die Keimlinge ergrünten auch noch in jenem Theile des dunklen Wärmespectrums, welcher sich von A bis zum Wärmemaximum des Spectrums verbreitete, d. i. in einer Strecke des dunklen Wärmespectrums, welche von A so weit in's Ultraroth reicht, als A von D entfernt ist. Genauere Angaben darüber, ob das dunkle Wärmespectrum völlig isolirt war, ob diffuses Licht selbst sehr geringer Intensität im Versuche ausgeschlossen war, führt Guillemin nicht an, eben so hat er den Grad des Ergrünens der bei dem Versuche benützten Keimlinge nicht näher präcisirt. Guillemin hat das Ergrünen im dunklen Wärmespectrum einfach durch den Augenschein festgestellt. Da nun bekanntlich die ersten Spuren des Chlorophylls in ergrünenden Keimlingen selbst dem geübtesten Auge entgehen, wohl aber noch durch Prüfung der weingeistigen Extracte der Keimlinge auf Fluorescenz oder spectroskopisch entdeckt werden können, so lässt sich annehmen, dass in dem Guillemin'schen Versuche auch noch jenseits des Wärmemaximums Ergrünen stattgefunden haben müsse. Sind die Guillemin'schen Experimente völlig fehlerlos, so reicht also die Fähigkeit der dunklen Wärmestrahlen im Bereiche des Spectrums noch weiter, als von Guillemin angegeben wurde.

Schon vor mehreren Jahren habe ich die genannten Versuche, und zwar ebenfalls mit Gerstenkeimlingen wiederholt. Ich erzielte aber keine übereinstimmenden Resultate. Meist erhielt ich nach 4—6stündiger Einwirkung des Sonnenlichtes im dunklen Wärmespectrum gar kein sichtliches Ergrünen. Bei einzelnen Versuchen erhielt ich ergrünte Keimlinge im Ultraroth; in anderen war bloss durch Fluorescenz eine Spur von Chlorophyll in den Gerstenpflänzchen nachzuweisen. Da die sonstigen Vegetationsbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit etc.), während der Versuche ziemlich constant blieben, so konnte ich nur annehmen, dass das von mir entworfene dunkle Wärmespectrum nicht frei von fremdem Lichte war. Nachdem ich später durch Versuche, welche ich weiter

unten genau mittheilen werde, mich davon überzeugte, welche geringe Lichtintensitäten zur Chlorophyllbildung genügen, wurde ich in dieser Annahme noch bestärkt und habe zur Klärung der Frage, ob die dunklen Wärmestrahlen zur Chlorophyllbildung tauglich sind, einen neuen, völlig verlässlichen Weg eingeschlagen.

Ehe ich die diesbezüglichen Versuche mittheile, habe ich noch Jenen gerecht zu werden, welche über diese Frage experimentirt oder doch wenigstens geschrieben haben.

Die Resultate Guillemin's sind völlig unangezweifelt angenommen worden und gingen in die Lehr- und Handbücher über [1]).

Einige von dem Guillemin'schen Experimente verschiedene, demselben Gegenstand gewidmete Versuche hat Böhm [2]) angestellt. Auf Töpfe, welche unergrünte aber sonst normale Keimlinge enthielten, wurden berusste Glasplatten aufgekittet und der Apparat in die Sonne gestellt. Die Pflänzchen ergrünten. Blätter etiolirter Exemplare von Phaseolus multiflorus und Phytolacca decandra wurden an einzelnen Stellen mit Staniol belegt oder mit Kienruss bestrichen. Die mit Staniol belegten Stellen blieben bleich, die mit Russ bedeckten ergrünten.

Böhm nahm an, dass — was auch gewiss nicht zu bezweifeln ist — der Staniolbeleg den Durchgang der gesammten Strahlen des Spectrums und damit auch die Chlorophyllbildung verhinderte. Das Ergrünen der mit Russ überzogenen Pflanzentheile erklärte er sich durch die Annahme, dass durch den Russ wohl die dunklen Wärmestrahlen, nichts aber von dem leuchtenden Theile des Sonnenspectrums hindurchgehen konnte, die ersteren aber gleich den leuchtenden Strahlen die Befähigung zur Chlorophyllerzeugung hätten.

Später wurden gegen diese Versuchsanstellung Bedenken erhoben; es wurde mit Recht eingewendet, dass die Russ-

---

[1]) S. z. B. Hofmeister, Pflanzenzelle. Sachs, Experimentalphysiologie und Lehrbuch der Botanik.

[2]) Sitzungsber. der k. Akad. der Wiss., Bd. 37 (1859).

überzüge wohl nicht frei von kleinen Rissen gewesen sein werden, welche den Durchgang leuchtender Strahlen erlaubten. Böhm wurde hiedurch zu neuen Versuchen angeregt.

In seiner Arbeit, „Beitrag zur näheren Kenntniss des Pflanzengrüns“[1]), theilt der genannte Forscher mit, dass in Töpfen, welche mit dickberussten Glasplatten (die für diesen Zweck durch drei Monate im Rauchfange gehangen hatten) bedeckt waren, bei Einwirkung des Sonnenlichtes Kressesamen ergrünte Keimlinge lieferte. Die Töpfe wurden so aufgestellt, dass die Sonnenstrahlen möglichst senkrecht auf die berussten Glasplatten auffallen konnten. Der Grad des Ergrünens ist in Böhm's Abhandlung nicht ersichtlich gemacht, auch ist dort nicht angegeben, wie lange der Versuch dauerte.

Ich habe meine Versuche mit doppelwandigen Glasflaschen ausgeführt, welche mit einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gefüllt waren. Die gesättigte Lösung lässt selbst in sehr dünner Schichte, wie Tyndall's Versuche lehrten, die dunklen Wärmestrahlen, nicht aber leuchtende (und dunkle chemische) Strahlen hindurch. In diesen doppelwandigen Glasflaschen waren die Versuchspflanzen aufgestellt.

Ich verwendete Glasflaschen mit einer Flüssigkeitsschichte von 9 Millim. Dicke und concentrirte die zur Füllung dienende Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff so weit, dass sie keine Spur von leuchtenden Strahlen durchliess, selbst wenn die Prüfung im directen Sonnenlichte gemacht wurde.

Anfänglich operirte ich mit Sonnenlicht. Zum Versuche dienten Gersten-, Mais-, Bohnen- und Kürbiskeimlinge. Die Temperatur eines feinen in $^1/_{10}{}^0$ C. getheilten, in der Glasglocke aufgestellten Thermometers mit berusster Kugel stieg bei Sonnenbeleuchtung fast augenblicklich und erhob sich gegen ein vor Strahlung geschütztes Thermometer rasch um 10 bis 15 und mehr Grade Cels., woraus zu entnehmen war, dass die unter der doppelwandigen mit Jod-Schwefelkohlenstoff gefüllten Glasglocke zu stellenden Pflanzen einer kräftigeren Wärmestrahlung ausgesetzt waren. Die Versuchspflänzchen wurden in

[1]) l. c., Bd. 47, 2. Abth. (1863), pag. 350.

tiefer Finsterniss gezogen und rasch in die Glocken untergebracht. Es konnte keine Schwierigkeiten bereiten, die Aufstellung so vorzunehmen, dass von der Basis der Glocken aus kein Licht zu den Pflänzchen dringen konnte. Letztere befanden sich in hohen mit Wasser gefüllten Lapisgläsern; ihre Blättchen ragten in den oberen Theil der Glocken hinein. Die Basis der letzteren war mehrere Centimeter hoch mit Sand oder feinem Strohhäcksel bedeckt und stand zudem im Schlagschatten des Randes einer Thonschale, welche dem Apparate als Postament diente, so dass ein Eindringen von Licht in die doppelwandigen Flaschen völlig ausgeschlossen war. Die etiolirten Keimlinge standen hier so lange, als auf sie Sonnenlicht fallen konnte, durch 3—6 Stunden und dennoch trat kein Ergrünen ein, wohl aber nicht selten ein sichtliches Welken der Pflänzchen. Da ich an den frischgebliebenen Pflänzchen auch an den nächsten Tagen, wenn ich schon so glücklich war, Sonnenlicht zum Versuche zu haben, keinen anderen Effect erzielte, so beschloss ich, die weiteren Experimente im Gaslichte vorzunehmen, in welchem bekanntlich Keimlinge vollständig ergrünen und das sich auch durch seinen Reichthum an dunklen Wärmestrahlen auszeichnet. Ich hatte es nunmehr in meiner Gewalt die Strahlung durch Combinirung von Gasflammen, Regulirung der Entfernung zwischen Gasflamme und Versuchspflanze innerhalb weiter Grenzen zu nuanciren, konnte bei constanter Strahlung operiren und hatte den grossen Vortheil, die Dauer der Versuche völlig zu beherrschen. Nach den genauen und ausgedehnten Untersuchungen Tyndall's ist selbst bei den intensivsten irdischen Lichtquellen die Menge der leuchtenden Strahlen gegenüber den dunklen Wärmestrahlen eine sehr geringe. Für die Leuchtgasflamme stellt sich das Verhältniss der leuchtenden Strahlen zu den dunklen Wärmestrahlen wie 4 : 96 [1]).

Die Flammen, welche ich in den Versuchen wirken liess, hatten eine constante Helligkeit; es konnte somit auch auf

---

[1]) S. Wüllner, Experimentalphysik, 2. Aufl. III, p. 169 ffd. nach Tyndall's Abhandlung in Pogg. Ann., Bd. 124.

gleiche mechanische Intensität der dunklen Strahlen geschlossen werden. Jede von den Flammen brannte unter demselben constanten Druck, indem das dieselben speisende Leuchtgas durch einen Regulator ging, welcher es innerhalb bestimmter Grenzen erlaubte, den Druck nach Belieben zu ändern.

Bei allen meinen hier folgenden Versuchen brannten die Flammen unter einem Drucke, welcher am Manometer mit 13·5 Millim. Wassersäule angezeigt wurde. Die Leuchtkraft jeder Flamme entsprach 6·5 Wallrathkerzen.

Versuch Nr. 1.

Zu diesem Versuche wurde bloss eine Gasflamme in Anwendung gebracht. Während der ganzen Zeit des Versuches — nämlich durch 72 Stunden — war die Entfernung der Flamme von der Versuchspflanze constant, betrug nämlich beiläufig 25 Centimeter. Das Versuchsmateriale bildeten etiolirte Keimlinge von Phaseolus multiflorus [1]), welche von einer doppelwandigen mit einer concentrirten Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gefüllten Glasglocke bedeckt wurden.

Die Lufttemperatur des Versuchsraumes betrug an einem ausserhalb der Glocke aufgestellten, vor Strahlung geschützten Maximum- und Minimumthermometer gemessen 16·5—17·9° C.

Das innerhalb der Glasglocke aufgestellte Thermometer mit geschwärzter Kugel zeigte 23·5° C. an. Auf die Strahlung kamen somit etwa 6° C. Nach Ablauf des Versuches liess sich für das Auge keine Spur von Ergrünen, weder der Cotylen, noch der Primordialblätter nachweisen.

Selbst durch die Fluorescenzprobe konnte in den aus den ergrünungsfähigen Organen dargestellten weingeistigen Extracten keine Spur von Chlorophyll entdeckt werden.

In den folgenden Versuchen will ich der Kürze und Uebersichtlichkeit halber folgende Bezeichnungen gebrauchen: n = Zahl der Gasflammen.

---

[1]) Da es bekannt ist, dass ältere etiolirte Keimlinge nur schwer, schliesslich gar nicht mehr, selbst unter den günstigsten Bedingungen für die Chlorophyllbildung, ergrünen, so wurden stets frische, junge Keimlinge zu den Versuchen benützt, deren Fähigkeit zu ergrünen, nebenher durch Pflänzchen derselben Aussaat geprüft wurde.

E = Entfernung der in der doppelwandigen, stets mit einer für leuchtende Strahlen völlig undurchlässigen Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gefüllten Glasglocke aufgestellten Versuchspflanze von der Flamme.
T = Temperatur an dem vor Strahlung geschützten Maximum- und Minimumthermometer.
t = Temperatur am Thermometer mit geschwärzter Kugel.
$\triangle t$ = Beiläufiger mittlerer Temperatursüberschuss in Folge der Strahlung.
V = Versuchspflanze. Z = Versuchsdauer.

Versuch Nr. 2.

n = 1 $\triangle t \doteq 8^0$ C.
E = 18 Centimeter V = etiolirte Keimlinge von
T = 14·5—16·2° C. Phaseolus multiflorus.
t = 23·6° C. Z = 96 Stunden.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 3.

n = 1 $\triangle t \doteq 6^0$ C.
E = 25 Centimeter V = etiolirte Maiskeimlinge
T = 15·2—17·1° C. Z = 72 Stunden.
t = 22·1° C.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 4.

n = 1 $\triangle t \doteq 8^0$ C.
E = 18 Centimeter V = etiolirte Maiskeimlinge.
T = 14·0—17·1° C. Z = 120 Stunden.
t = 23·1° C.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 5.

n = 1 $\triangle t \doteq 6{\cdot}5^0$ C.
E = 25 Centimeter. V = etiolirte Keimlinge von
T = 16·4—18·0° C. Kresse (*Lepidium sativum*).
t = 23·6° C. Z = 48 Stunden.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 6.

n = 1 △t = 8° C.
E = 18 Centimeter V = etiolirte Kressekeimlinge.
T = 15·5—17·2° C. Z = 72 Stunden.
t = 24·4° C.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 7.

n = 2 △t = 13° C.
E = 16 Centimeter. V = etiolirte Keimlinge von
T = 15·3—17·0° C. Phaseolus multiflorus.
t = 29·5° C. Z = 72 Stunden.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 8.

n = 2 △t = 14° C.
E = 16 Centimeter. V = etiolirte Maiskeimlinge.
T = 15·4—18·1° C. Z = 72 Stunden.
t = 31·1° C.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 9.

n = 2 △t = 12° C.
E = 16 Centimeter. V = etiolirte Kressekeimlinge.
T = 13·5—14·2° C. Z = 51 Stunden.
t = 25·8° C.

Kein Ergrünen.

Versuch Nr. 10.

n = 2 △t = 13° C.
E = 16 Centimeter. V = etiolirte Gerstenkeimlinge.
T = 15·0—16·2° C. Z = 72 Stunden.
t = 28·5° C.

Kein Ergrünen.

Zu diesen Versuchen sei noch Folgendes bemerkt. Die Nachweisung des Chlorophylls wurde nicht bloss durch den Augenschein vorgenommen, sondern stets die aus den Versuchs-

pflänzchen sofort bereiteten weingeistigen Extracte auf Fluorescenz geprüft. Erst auf Grund dieser Reaction wurde das Resultat des Experimentes festgestellt. Alle in den aufgeführten Versuchen benützten Pflänzchen erhielten sich bis zum Schlusse frisch und lebenskräftig, was sich daraus auf's Bestimmteste ergab, dass sie nach Beendigung des Versuches in's diffuse Licht gestellt, sich unter Ergrünung weiter entwickelten. Dass die unter den Glasglocken herrschende Temperatur nicht zu hoch war, um das Ergrünen zu ermöglichen, geht aus den Thatsachen über die Beziehung der Temperatur zur Chlorophyllbildung hervor, welcher Gegenstand in einem der folgenden Capitel kurz abgehandelt werden soll. Auch der Einwand, als würde im Gasraume der doppelwandigen Glasflasche sich während der langewährenden Keimung allzuviel Kohlensäure angesammelt haben, welche in reichlicher Menge das Ergrünen verlangsamt oder gar hintanhält [1]), hätte keine Berechtigung, da in derselben doppelwandigen Glasflasche unter Versuchsbedingungen, welche wohl ein lebhaftes Ergrünen, aber keine nachweisliche Assimilation unorganischer Nährstoffe zuliessen, und die gleichfalls während der ganzen Versuchszeit nicht geöffnet wurde, der Kohlensäuregehalt der in der Glocke befindlichen Luft keinerlei störenden Einfluss auf die Chlorophyllbildung ausübte. Auch ist bei dem Umstande, dass die Glocken nicht hermetisch abgeschlossen waren, und bei dem grossen Gasraume derselben (etwa 1890 Cub.-Cent.) schon von vorneherein anzunehmen, dass keine starke Kohlensäureansammlung im Versuche stattfinden konnte. Ich habe indess, um einen etwaigen Fehler in dieser Richtung kennen zu lernen, während eines Versuches (Nr. 7) einige mit Kalilauge gefüllte Gefässe neben der Versuchspflanze aufgestellt, bestimmt, die von Keimlingen ausgeschiedene Kohlensäure aufzunehmen. Aber auch bei dieser Versuchsanstellung trat kein Ergrünen ein.

Einige weitere Versuche, welche ich zum Zwecke der Prüfung der dunklen Wärmestrahlen auf ihre etwaige chloro-

---

[1]) Vergleiche hierüber die ausführlichen Angaben Böhm's in den Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss., Bd. 68, I. Abth. (1873).

phyllerzeugende Kraft angestellt hatte, und die ebenfalls alle ein negatives Ergebniss lieferten, seien hier nur mit einigen Worten erwähnt. Durch Anwendung einer Gasflamme und Vergrösserung der Entfernung zwischen Flamme und der hinter Jod - Schwefelkohlenstoff aufgestellten Versuchspflanzen sank die Strahlungstemperatur bis auf 1° C. herunter. Ich erzielte nach tagelanger Einwirkung der dunklen Wärmestrahlen auf die Pflänzchen auch hier kein Ergrünen. In anderen Versuchen steigerte ich durch Vermehrung der wirkenden Flammen oder grössere Annäherung von 1—2 Flammen an die Versuchspflanze den Temperatursüberschuss in Folge der Strahlung auf 15—20° C. Hier stellte sich aber nach 1—2 Tagen ein starkes Welken der Pflanze ein. Die Blättchen schrumpften förmlich ein.

Aus allen meinen Versuchen geht wohl mit Bestimmtheit hervor, dass den dunklen Wärmestrahlen jener Intensität, welche die Vegetationsprocesse ergrünender Pflanzentheile noch nicht zu stören vermag, die Fähigkeit abgeht, Chlorophyll zu erzeugen, oder mit anderen Worten, dass diese Strahlen nicht jene chemische Wirkung ausüben können, welche etwa die gelben Lichtstrahlen bei der Chlorophyllbildung bethätigen.

Ich komme nun zur Mittheilung einer höchst merkwürdigen Thatsache, welche an und für sich von physiologischem Interesse, vielleicht auch geeignet sein dürfte, den Widerspruch zu lösen, welcher zwischen dem eben dargelegten Versuchsresultat mit dem oben mitgetheilten Ergebnisse der Experimente von Guillemin und Böhm besteht. Es könnte nämlich nach meinen Erfahrungen ganz gut möglich sein, dass Guillemin und Böhm mit völlig reinem ultrarothen Lichte experimentirten und dennoch ergrünte Keimlinge erhielten; falls bestimmte Versuchsbedingungen eingetreten wären, welche die genannten Beobachter übersahen; die Keimlinge hätten aber in diesem Falle nur ein ganz schwaches Grün zeigen können.

Die Sache verhält sich nämlich so: Wenn ich Keimlinge, z. B. von Mais, Gerste oder Kürbis, welche bei völligem Ausschluss des Lichtes etiolirten, sofort hinter

Jod - Schwefelkohlenstoff, sei es in der Sonne, sei es im Gaslichte aufstelle, so tritt keine Spur von Ergrünen ein. Wenn ich aber bei der Aufzucht der Versuchspflanzen nicht sorgfältig zu Werke ging, indem ich sie entweder auf einige Zeit der Beleuchtung aussetzte oder während ihrer ganzen Entwickelung einer schwachen Lichtwirkung überantwortete, die, ohne für das Auge kenntlich zu sein, dennoch zur schwachen Ergrünung bei genügender Zeitdauer ausgereicht haben würde; dann stellte sich unter dem Einflusse der ultrarothen Strahlen in der That ein — freilich stets schwaches — Ergrünen ein. Ich bin auf diese merkwürdige Beobachtung allerdings durch den Zufall gekommen; zur sicheren Feststellung der Thatsache leitete ich aber später besondere Versuche ein, die ich in folgender Weise ausführte.

Die Keimpflänzchen liess ich in tiefer Finsterniss aufwachsen und stellte einige derselben sofort hinter Jod-Schwefelkohlenstoff der Wärmestrahlung gewöhnlich einer oder zweier Gasflammen aus. Nach einigen Stunden stellte ich einen anderen Theil der etiolirten, nach Ausweiss der Fluorescenzprobe völlig chlorophyllfreien Keimlinge in zwei Gefässen auf und liess sie in sehr schwachem diffusen Tageslichte — im Schatten der Wand eines nicht besonnten Zimmers — oder in sehr schwachem Gaslichte durch eine bis zwei Stunden stehen.

Ein für das freie Auge sichtliches Ergrünen wurde nicht abgewartet.

Hierauf stellte ich eines der Gefässe mit den Keimlingen neben die hinter Jod - Schwefelkohlenstoff befindlichen, das andere Gefäss in den finsteren Raum, wo die Keimlinge jener Temperatur ausgesetzt waren, die hinter der Glocke herrschte. Nach 24 Stunden wurden die Versuchspflänzchen verglichen. Die bloss der Wärmestrahlung ausgesetzt gewesenen, im Beginne des Versuches mit den belichteten Vergleichspflänzchen in der Färbung übereinstimmend, hatten ihre ursprüngliche Etiolinfarbe behalten; die letzteren erschienen, im Vergleiche mit ersteren, merklich grün.

Aber auch die beiden belichtet gewesenen Keimlinge unterschieden sich merklich von einander: die im Dunklen

aufbewahrten hatten ihre Farbe nicht geändert; im Vergleiche zu ihnen erschienen die der Wärmestrahlung ausgesetzt gewesenen schwach grünlich.

Der Versuch wurde auch in der Weise durchgeführt, dass die im Finstern aufgewachsenen Keimlinge bloss durch etwa eine Viertelstunde, oder überhaupt nur durch so kurze Zeit einer schwachen Beleuchtung ausgesetzt wurden, dass sich nicht einmal durch die Fluorescenzprobe Chlorophyll erweisen liess.

Eine Partie dieser Keimlinge wurde hinter Jod-Schwefelkohlenstoff, die andere im Finstern aufgestellt. Nach einigen Stunden liess sich wohl in den der dunklen Wärmestrahlung, nicht aber in den im Finstern aufbewahrten Pflänzchen durch Fluorescenz Chlorophyll nachweisen.

Als ich diese Beobachtung constatirte, erinnerte ich mich eines merkwürdigen Versuches, welchen Becquerel[1]) zuerst anstellte.

Er liess auf eine Daguerre'sche, schwach belichtet gewesene Platte das Sonnenspectrum fallen und bemerkte, dass nicht nur die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen des Spectrums auf derselben sich abbildeten, sondern auch die übrigen leuchtenden Strahlen, selbst die gelben und rothen, denen unter anderen Umständen eine solche photographische Wirkung nicht zukömmt.

Becquerel nannte die Strahlen, welche eine photochemische Wirkung direct nicht auszuüben vermögen, wohl aber die Action gewöhnlicher chemisch wirkender Strahlen fortzusetzen befähigt sind, *„rayons continuateurs."*

Ich halte nun, nach meinen hier kurz beschriebenen Versuchen, die dunklen Wärmestrahlen für solche *„rayons continuateurs"*, welche an sich nicht befähigt sind, den chemischen Process der Chlorophyllbildung zu ermöglichen, wohl aber nach Einleitung desselben durch die leuchtenden Strahlen denselben fortzuführen vermögen.

---

[1]) La lumière II., p. 75. — Siehe auch Wüllner, Experimentalphysik II., pag. 278.

Ich komme im folgenden Capitel auf die Frage der Wirksamkeit der *rayons continuateurs* zurück. Dort soll auch der Bunsen'schen Ansicht Rechnung getragen werden, ob die von Becquerel beobachtete Thatsache nicht als ein Fall photochemischer Induction anzusehen sei. Ich werde auf diesen Gegenstand natürlich nur in so weit eingehen, als er die Frage der Entstehung des Chlorophylls berührt.

IV.

Die Beziehung der leuchtenden Strahlen zur Entstehung des Chlorophylls und der Nachweis, dass sogenannte „*rayons continuateurs*" bei der Chlorophyllbildung wirksam sind.

Die Untersuchungen, welche von Gardner[1]), Guillemin[2]) und Sachs[3]) angestellt wurden, machten es im hohen Grade wahrscheinlich, dass alle leuchtenden Theile des Spectrums die Fähigkeit zur Chlorophyllerzeugung besitzen, und dass es vornehmlich die am meisten leuchtenden, nämlich die gelben und beiderseits benachbarten Strahlen sind, welche die Bildung der grünen Substanz am meisten begünstigen.

Sachs hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass im diffusen Lichte hinter einer Auflösung von doppeltchromsaurem Kali das Ergrünen in einigen Fällen ebenso rasch, in anderen rascher als hinter einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak vor sich geht.

Es ist hiedurch die Anschauung, dass eine feste Beziehung zwischen der Brechbarkeit des Lichtes und der Geschwindigkeit der Chlorophyllerzeugung besteht, in's Schwanken gerathen.

---

[1]) Froriep's Notizen. Bd. 30. Nr. 11 (1844).
[2]) l. c., pag. 172.
[3]) Bot. Zeitung 1864, pag. 362.

Ich [1]) habe durch erneute Versuche den scheinbaren Widerspruch, welcher in den Versuchen von Sachs liegt, zu beseitigen vermocht. Ich zeigte nämlich, dass bei sehr geringen Helligkeiten in der Pflanze Chlorophyll erzeugt, bei grösseren aber sowohl neu erzeugt, als auch zerstört wird, so dass bei Einwirkung höherer Lichtintensitäten auf die Pflanzen nur jenes Chlorophyll in Erscheinung treten kann, welches sich als Differenz zwischen dem erzeugten und zerstörten ergibt. Bei sehr grossen Lichtintensitäten kann sich das Verhältniss zwischen der Brechbarkeit des Lichtes und der Chlorophyllbildung scheinbar umkehren: es kann das Ergrünen im blauen Lichte rascher als im gelben erfolgen, ja man kann es durch das Experiment dahin bringen, dass im hellen Lichte gar kein Chlorophyll mehr gebildet wird, wenn nämlich die Verhältnisse der Beleuchtung so getroffen werden, dass alles neu gebildete Chlorophyll gleich wieder zerstört wird.

Es lässt sich, wie ich gezeigt habe, auf das genaueste der Nachweis führen, dass von den am meisten leuchtenden Strahlen an das Vermögen der Lichtstrahlen, Chlorophyll zu erzeugen, nach beiden Enden des sichtbaren Spectrums hin abnimmt, wenn man nämlich die Versuche bei sehr geringen Helligkeiten vornimmt, im schwachen diffusen Licht, in welchem wohl Chlorophyll gebildet, aber dasselbe noch nicht zerstört wird. Bringt man nämlich ein durch fein ausgefällten oxalsauren Kalk getrübtes Wasser, eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali, eine ätherische Rohchlorophylllösung, eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak und eine Aescorceïn-Solution auf gleiche Helligkeiten, und lässt man etiolirte Keimlinge hinter den genannten Flüssigkeiten im schwachen diffusen Lichte ergrünen, so findet man, dass das Ergrünen im weissen Lichte (hinter getrübtem Wasser) zuerst eintritt; hierauf folgt die Chlorophyllbildung hinter der gelben Lösung, dann hinter der grünen, sodann hinter der rothen und schliesslich erst hinter der blauen.

---

[1]) Untersuchungen über die Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzungsber. d. Wiener Akad.; math. nat. Kl., Bd. 69.

So weit reichen die bis jetzt gewonnenen Erfahrungen.

Ich gehe nun zur Beantwortung der Frage über, ob allen leuchtenden Strahlen des Spectrums die Fähigkeit zur Chlorophyllbildung zukömmt. Diese Frage ist bis jetzt nur bejaht worden. Ich werde jedoch den Nachweis liefern, dass in der That einem Theil des leuchtenden Spectrums die Fähigkeit abgeht, die Chlorophyllerzeugung hervorzurufen.

Von Guillemin ist, wie ich schon im vorigen Capitel erwähnte, behauptet worden, dass die der Chlorophyllbildung dienlichen Strahlen in der minder brechbaren Hälfte des Spectrums über das äusserste Roth hinausreichen, nämlich bis zum Wärmemaximum im Ultraroth gehen. Ich habe nun an jener Stelle den Nachweis geliefert, dass den dunklen Wärmestrahlen diese Fähigkeit nicht zukömmt.

Da ich in der oben citirten Abhandlung bewiesen habe, dass hinter einer Aescorceïnlösung, welche nur jenes rothe Licht, das der Brechbarkeit der Strahlen zwischen den Fraunhofer'schen Linien *B*—*C* entspricht, durchlässt, noch Ergrünen eintritt; so ist zunächst zu prüfen, ob dem Lichte, welches der Brechbarkeit der Strahlen zwischen den Fraunhofer'schen Linien *A*—*B* entspricht, noch eine chlorophyllerzeugende Kraft zukömmt.

Zu diesem Behufe habe ich jene Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, die zu den Versuchen über den Einfluss der dunklen Wärmestrahlen auf die Chlorophyllbildung diente, und die in der angewendeten Schichtendicke gar keine leuchtenden Strahlen durchliess, mit Schwefelkohlenstoff so weit verdünnt, bis sie eine Spur von Licht hindurchliess. Dieses Licht erwies sich spectroskopisch untersucht als ein Schimmer von Roth. Ich ging in der Verdünnung weiter, bis ich mittelst des Spectroskopes deutlich das Licht von A—a nachweisen konnte. Gegen eine helle Gasflamme gehalten erschien das durchgehende Licht dem freien Auge violettroth, obschon ich ausser dem Roth von der genannten Brechbarkeit keine Spur eines anderen Lichtes spectroskopisch wahrnehmen konnte. Diese Lösung diente zur Füllung von doppelwandigen

Glasflaschen. Es ist wohl selbstverständlich, dass ich die Lösung so herstellte, dass sie bei jener Schichtendicke, welche der Dicke des Füllungsraumes der doppelwandigen Glocken entsprach, die bezeichnete Lichtdurchlässigkeit besass. In diesen Glocken wurden die Versuchspflänzchen aufgestellt. Es waren in völliger Dunkelheit erzogene Keimlinge von Mais, Gerste, Kresse und Kürbis. Ich setzte sie durch 2—5 Stunden der Wirkung der Sonnenstrahlen aus, aber ohne Erfolg. Ich liess sie von 1—2 Gasflammen (13^{mm} Druck, Distanz zwischen Flamme und Pflanze etwa 30 C.) durch 24—96 Stunden bescheinen; ebenfalls ohne Erfolg. Als ich hierauf die Jodschwefelkohlenstoff-Lösung so weit verdünnte, dass auch die Strahlen, die etwas über *B* hinausreichten, zur Wirkung kommen konnten, so stellte sich nach einigen Stunden schon ein leises Ergrünen ein, und zwar bei allen zum Versuche benützten Versuchspflänzchen, sowohl bei Mais- und Gerste- als auch bei Kürbis- und Kressekeimlingen. Wenn ich die Verdünnung so weit trieb, dass das ganze rothe Licht von der Brechbarkeit der Strahlen zwischen *A*—*C* durch die Lösung hindurchgehen konnte, so erfolgte schon in 3—4 Stunden ein sehr deutliches, nach 6—9 Stunden ein sehr lebhaftes Grünwerden der Keimlinge.

Die Temperatur erhob sich allerdings in den Glocken hiebei bis auf 30—36° C.; allein nach den Erfahrungen, welche in Betreff des Einflusses der Temperatur auf das Ergrünen bekannt sind und über welche in einem der folgenden Capitel noch gesprochen werden wird, kann diese Temperatur durchaus nicht als die Chlorophyllbildung gefährdend anzusehen sein; es lehren dies ja auch die zuletzt mitgetheilten Versuche.

Die von mir angestellten Versuche lehren, dass die Strahlen des äussersten Roth (o—a) nicht mehr zur Chlorophyllbildung befähigt sind.

Hingegen lehrten zahlreiche andere Versuche, welche mit verschieden concentrirten Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak durchgeführt wurden, dass allen leuchtenden Strahlen vom Roth bis zum äussersten Violett Chlorophyll erzeugende Kraft zukömmt. Auch diese Versuche

wurden in doppelwandigen Glasflaschen ausgeführt und zwar mit Keimlingen von Mais. Ich fürchte die Geduld der Leser zu ermüden, wenn ich im Detail angeben würde, wie hier zu Werke gegangen wurde. —

Ich komme nun zu einer Reihe ganz neuer und interessanter Beobachtungen.

Schon im vorigen Capitel wurde mitgetheilt, dass ich reine Resultate über den Zusammenhang zwischen dunkler Wärme und Chlorophyllbildung nur erhielt, wenn ich Keimlinge benützte, welche in völliger Dunkelheit aufgezogen wurden und die dann sofort der Einwirkung der dunklen Wärmestrahlen überantwortet wurden. In diesem Falle folgte selbst bei tagelanger Wirkung dunkler Wärmestrahlen keine Chlorophyllbildung. Wenn ich aber Keimlinge, die im schwachen Dämmerlichte aufwuchsen oder die ich absichtlich durch kurze Zeit im Halbdunkel aufstellte, die aber alle noch kein merkliches Ergrünen zeigten, den dunklen Wärmestrahlen aussetzte, so erfolgte merkbares, wenn auch nur schwaches Ergrünen. Ich erklärte die Erscheinung durch die Annahme, dass die an sich keine chlorophyllerzeugende Kraft besitzenden dunklen Wärmestrahlen die im gewöhnlichen Lichte begonnene photochemische Wirkung fortzusetzen befähigt sind, dass sie zu „*rayons continuateurs*“ im Becquerel'schen Sinne werden.

Es lag nun nahe, zu vermuthen, dass alle jene Strahlen, welche nur eine geringe chlorophyllerzeugende Kraft haben, nach vorhergegangener Beleuchtung durch weisses oder durch ein Licht, welches die Chlorophyllbildung relativ stark beeinflusst, zu „*rayons continuateurs*“ werden, und dann für die Chlorophyllbildung mehr leisten, als wenn sie allein hiebei thätig gewesen wären. Sollte sich dies bestätigen, so wäre die photochemische Wirkung des gemischten Lichtes, wie es auf die Pflanze trifft, eine grössere, als der Summe der Wirkung der einzelnen Strahlengattungen entsprechen würde.

Ich habe zunächst Versuche mit etiolirten Pflanzen hinter einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gemacht, welche ausser den dunklen Wärmestrahlen noch Licht von

der Brechbarkeit zwischen A—B durchliess. Ich benützte im völligen Dunkel erwachsene Keimlinge von Mais, die durch vier Stunden in sehr schwachem diffusen Lichte standen und die für das Auge nur eine Spur von Ergrünung darboten, welche erst in Erscheinung trat, wenn man die Keimlinge mit eben aus dem Finstern geholten Keimlingen verglich. Ein Theil der Pflänzchen wurde dunkel gestellt, ein Theil unter einer mit Jod-Schwefelkohlenstoff gefüllten, doppelwandigen Glasglocke aufgestellt und der Wirkung einer Gasflamme (13·5 Millim. Druck, Entfernung der Pflanze von der Flamme 30 Centimeter) ausgesetzt. Schon nach 5—6 Stunden liessen sich die ersten Spuren stärkeren Ergrünens constatiren, wenn man nämlich die Pflänzchen mit den im Dunkeln aufbewahrten verglich. Nach 24stündiger Einwirkung war die Chlorophyllmenge eine sichtlich grössere geworden. Zu einem lebhaften Ergrünen kam es jedoch auch bei diesen Versuchen nicht. Die Keimlinge erreichten einen grösseren Grad des Ergrüntseins, der sich unter diesen Verhältnissen einige Zeit (etwa 1—2 Tage) hielt; mit der weiteren stärkeren Entwicklung der Pflanze, namentlich mit der stärkeren Entfaltung der Blätter verschwand die Wirkung des Lichtes wieder.

Andere Versuche ähnlicher Art wurden im blauen Lichte gemacht, durch Benützung einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak, welche in der angewendeten Schichtendicke alles Licht von E—H und eine Spur Roth hindurchliess. Gerstenpflänzchen, welche aus tiefem Dunkel direct unter die Glasglocke gebracht wurden, mussten hinter der genannten Lösung bei Wirkung einer 50 Centimeter von den Pflänzchen entfernt brennenden Gasflamme (13·5 Millim. Druck) 24 Stunden (bei 18—19° C.) stehen, bis ein für das freie Auge kenntliches Ergrünen eintrat. Nunmehr wurden unter gleichen Verhältnissen gezogene Gerstenkeimlinge aus dem Dunkel direct in's Gaslicht gestellt und letzteres so lange einwirken gelassen, bis die Pflänzchen mit den hinter der blauen Glocke ergrünten in der Färbung übereinstimmten. Dies trat nach etwa einer Stunde ein. Nunmehr wurden auch diese Pflänzchen unter die Glocke gebracht. Schon nach fünf Stunden war der

Unterschied ein unverkennbarer: die zuletzt in die Glocke gebrachten waren auffallend lebhafter grün geworden und erreichten auch früher den Zustand völliger Ergrünung, als die während des ganzen Versuches im blauen Lichte gestandenen.

Mehrere etiolirte Erbsenpflänzchen wurden sofort aus dem Finstern in die blaue Glocke gebracht. Dieselbe stand zwischen zwei Gasflammen, die unter einem Drucke von 13 Millim. brannten. Die eine Flamme war von den Versuchspflänzchen 30, die andere 180 Centim. entfernt. Die Temperatur des Versuchsraumes betrug 18—19° C. Ein merkliches Ergrünen erfolgte erst nach Ablauf von 48 Stunden. Als dies eingetreten war, stellte ich andere etiolirte Erbsenkeimlinge von derselben Aussaat direct im Gaslichte auf. Schon nach 2 Stunden hatten dieselben jenen Grad von Grünfärbung erreicht, wie die unter der Glocke gestandenen. Die im Gaslichte ergrünten Pflänzchen wurden nun auch unter die Glocke gebracht. Nach Ablauf von 40 Stunden hatten die letzteren eine ausgesprochen lebhaftere grüne Farbe angenommen, als die ersteren.

Ich führe von meinen Versuchen noch zwei an, welche unter Anwendung blauer Glocken im diffusen Tageslichte vorgenommen wurden.

Etiolirte, in völliger Dunkelheit aufgewachsene Gerstenkeimlinge wurden unter die Glocke gebracht. Hier standen sie bei einer Temperatur von 15—18° C. von 11 Uhr a. m. bis 5 Uhr p. m. und am nächsten Tage von 7—9 Uhr a. m. im diffusen Lichte. Die übrige Zeit blieben sie im Finstern. Nunmehr waren die Blätter der Versuchspflänzchen bis zur Spitze schwach ergrünt. Ich stellte hierauf Keimlinge derselben Aussaat direct in's diffuse Tageslicht, welche alsbald die unter der blauen Glocke gestandenen im Farbentone erreichten. Unter die Glocke gebracht, übertrafen sie nach achtstündiger Einwirkung des blauen Lichtes die während des ganzen Versuches unter der Glocke aufgestellt gewesenen in der Intensität der grünen Färbung.

Etiolirte Erbsenkeimlinge hatten unter der blauen Glocke bei einer Temperatur von 15—17° C. nach achtstündiger

Einwirkung des diffusen Lichtes eine deutliche grüne Farbe angenommen. Frische Keimlinge, frei dem Einflusse des diffusen Tageslichtes ausgesetzt, erreichten die im blauen Lichte ergrünten Pflänzchen in der Farbe rasch; nunmehr unter die blaue Glocke gebracht, hatten sie die ersteren nach 16 Stunden in der Färbung überholt.

Die photochemische Wirksamkeit der „*rayons continuateurs*" ist von Bunsen als ein specieller Fall der photochemischen Induction aufgefasst worden, wogegen aber eingewendet wurde, dass in den Becquerel'schen Versuchen der durch das Licht eingeleitete Process nicht etwa unter dem Einflusse schwächeren Lichtes oder bei Mangel an Licht sich fortsetzte, sondern unter dem Einflusse vom Lichte bestimmter Brechbarkeit, welchem bei alleiniger Wirkung die Fähigkeit der Zersetzung der Silbersalze nicht oder nur in relativ geringem Grade zukömmt.[1])

Um nun zu entscheiden, ob ich es in dem eben angeführten Ergrünungsversuche mit der photochemischen Induction oder mit der Wirksamkeit der „*rayons continuateurs*" zu thun hatte, mussten noch besondere Versuche angestellt werden.

Bei der Durchführung derselben operirte ich bloss mit doppelwandigen Glasflaschen, welche mit Jod-Schwefelkohlenstoff gefüllt waren, nicht mit den blauen Glocken, und zwar aus folgenden Gründen. Die Concentration der Lösung des Jod in Schwefelkohlenstoff konnte ich für Dicken der Flüssigkeitsschichten so wählen, dass bloss solche Strahlen durchgingen, welchen an sich keine chlorophyllerzeugende Kraft zukömmt; dies ist aber bei Anwendung der blauen Glocken nicht zu erreichen. Erfolgt hinter jenen Glasglocken an vorher schwach belichteten Keimlingen sichtliches Ergrünen, nicht aber, wenn diese Keimlinge bei gleicher Temperatur und Ausschluss von dunkler Wärme im Finstern aufgestellt wurden, so hat man die hier zu discutirende Erscheinung als durch „*rayons continuateurs*" zu Stande gebracht zu erklären und nicht als Inductionsphänomen. Mehrere Versuche, welche

[1]) Vgl. hierüber Wüllner, Experimentalphysik II., pag. 278 ffd.

mit Keimlingen von Mais, Gerste, Bohnen und Kresse in der Weise angestellt wurden, dass die Pflänzchen im etiolirten Zustande zuerst durch kurze Zeit (1—2 Stunden) im schwachen diffusen Lichte, dann theils unter den Glasglocken im Gaslichte, theils in einem dunklen, constant temperirten Zimmer sich befanden, woselbst sie in einem geräumigen, verschlossenen Holzschranke aufgestellt wurden, lehrten durchwegs, dass die Erscheinung nicht durch Induction hervorgerufen worden sein konnte: denn nur die in den Glocken aufgestellten Pflänzchen ergrünten, nicht aber die bei Ausschluss der Strahlung im Dunklen aufbewahrten.

Zu den eben genannten Versuchen sind die blauen Glasglocken nicht geeignet. Hier liesse sich die Frage, ob die Nachwirkung des Lichtes beim Ergrünen durch Induction oder durch die Wirksamkeit der „*rayons continuateurs*" erfolgt, nicht entscheiden, weil die durch das schwefelsaure Kupferoxydammoniak hindurchgehenden Lichtstrahlen durchwegs chlorophyllerzeugende Kraft haben. Doch ist es erlaubt, durch Analogie zu schliessen, dass das schnellere Ergrünen früher im schwachen Lichte gestandener und dann in die blauen Glocken gebrachter Pflänzchen auch hier dadurch zu Stande kömmt, dass die an sich die Chlorophyllbildung nur im geringen Grade fördernden blauvioletten Strahlen, Pflanzen gegenüber, welche früher schwach belichtet wurden, als „*rayons continuateurs*" fungiren.

V.

Die Wirksamkeit der ultravioletten Strahlen bei der Chlorophyllbildung.

Ueber den Einfluss der dunkeln chemischen Strahlen auf das Ergrünen liegt nur die in den beiden letzten Capiteln mehrfach citirte Arbeit Guillemin's vor, welcher zufolge dieser Strahlengattung eine — wenn auch nur schwache — chlorophyllerzeugende Kraft zukömmt.

Nach dem heutigen Stande unserer physikalischen Hilfsmittel lässt sich zur Lösung dieser Frage wohl kaum ein anderer Weg, als der von Guillemin betretene einschlagen, nämlich die Beobachtung des Ergrünens etiolirter Keimlinge im objectiven Spectrum.

Man kennt allerdings Medien, welche alle chemischen Strahlen absorbiren, z. B. reine Chromsäurelösung [1]) oder eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali; allein bis jetzt ist noch keine Substanz aufgefunden worden, welche bloss dunkle chemische Strahlen durchliesse, die man also ähnlich wie eine gesättigte Solution von Jod in Schwefelkohlenstoff zur Lösung der genannten Frage benützen könnte. Da selbst ganz concentrirte Kupferoxydammoniak-Lösungen von einer Schichtendicke, welche den Durchgang leuchtender Strahlen hindert, hiezu nicht geeignet sind, so habe ich mannigfaltige Versuche gemacht, um durch Combinirung zweier absorbirender Medien diesen Effect hervorzubringen; allein wenn es mir auch gelang, auf diese Weise nahezu monochromatisches grünes, oranges und gelbes Licht zu erzielen [2]), so konnte ich es doch nicht dahin bringen, eine Combination ausfindig zu machen, welche bloss dunkle actinische Strahlen passiren liesse. —

Schon vor einigen Jahren wiederholte ich die Guillemin'schen Versuche im objectiven Spectrum und zwar mit Mais- und Kressekeimlingen und erhielt ähnliche Resultate wie der genannte Forscher, nämlich nach mehrstündiger Einwirkung der dunklen chemischen Strahlen des Sonnenspectrums ein leises Ergrünen.

Wenn ich nun auch nach Guillemin's und meinen Versuchen eine Betheiligung der ultravioletten Strahlen beim Ergrünungsprocesse für wahrscheinlich halte, so möchte ich doch nicht weiter gehen und sie für bewiesen ansehen. Und zwar aus denselben Gründen, welche ich schon oben bei

[1]) Vgl. Sachs in den Berichten der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften 1859, pag. 234.

[2]) S. Wiesner, Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll, Sep.-Abdr., pag. 33.

Discussion der Guillemin'schen Versuche über die Betheiligung der dunklen Wärmestrahlen bei der Entstehung des Chlorophylls geltend machte. Es ist bei den Versuchen im objectiven Spectrum ausserordentlich schwierig, eine ganz bestimmte Lichtsorte rein zu bekommen, also fremdes, namentlich reflectirtes Licht absolut auszuschliessen. Es möchte auch schwer halten, die Abwesenheit ganz schwachen diffusen Lichtes mit aller Sicherheit zu constatiren. Da nun zum Ergrünen ausserordentlich geringe Lichtintensitäten ausreichen, so ist einzusehen, dass bei der Versuchsanstellung mit dem objectiven Spectrum Fehler schwer zu vermeiden sein werden.

Es ist indess auch noch aus einem anderen Grunde wahrscheinlich, dass die ultravioletten Lichtstrahlen wenigstens Geringes beim Ergrünen leisten. Es ist oben gezeigt worden, dass selbst im äussersten Violett noch — wenn auch nur schwaches — Ergrünen eintritt. Da nun früher dargelegt wurde, dass die Chlorophyll erzeugende Kraft der Lichtstrahlen vom Roth sich steigert bis zum Gelb und von hier continuirlich abnimmt, so ist wohl zu vermuthen, dass im äussersten Violett diese Kraft nicht plötzlich verlöschen, sondern noch — mehr oder weniger weit — in's Ultraviolett reichen wird.

Die Strahlen, welche die Chlorophyllbildung hervorzurufen befähigt sind, reichen also gewiss von *B—H;* wahrscheinlich aber noch weiter in den brechbaren Theil des Spectrums hinein.

VI.

Bestimmung der geringsten Helligkeit, welche zur Chlorophyllbildung ausreicht.

Als ich die im vorliegenden Capitel zu schildernden Versuche unternahm, liess ich mich von einem Gedanken leiten, welcher sich im Laufe der Untersuchung als irrthümlich herausstellte. Es ist indess das hiebei gewonnene negative

Resultat nicht ganz werthlos, da die Idee, von welcher ich ausging, von vornherein nicht verwerflich war; es sei desshalb erlaubt, meine verfehlte Vorstellung in Kürze blosszulegen.

Schon in der Einleitung erwähnte ich der merkwürdigen Entdeckung des Ergrünens von Coniferenkeimlingen im Finstern. Seit nahezu zwei Decennien kennen wir die Thatsache. Sie wurde in der Folge durch Mohl's Auffindung [1]), dass das in den Finsterkeimlingen entstehende grüne Pigment die Fluorescenzerscheinung des Chlorophylls darbietet und durch die in jüngster Zeit ausgeführte spectroskopische Prüfung des weingeistigen Extractes der im Dunkeln ergrünten Coniferenkeimlinge nur noch mehr erhärtet [2]); aber von keiner Seite noch erklärt. Uns erscheint eben zum Entstehen des Chlorophylls der Angiospermen Licht erforderlich, zum Entstehen dieses Körpers in den Keimlingen der Nadelhölzer und noch in einigen anderen Gewächsen aber nicht.

Ich bildete mir nun die Vorstellung, dass die Minima der Lichtintensitäten, welche zur Entstehung des Chlorophylls in den Geweben verschiedener Pflanzen nothwendig sind, verschiedene Grössen repräsentiren. Ich erwartete die Auffindung einer Reihe, an deren einem Ende die Keimlinge der Coniferen stünden. Mit andern Worten, ich hoffte zu constatiren, dass auch die aus Nadelholzsamen in einer Dunkelheit, in welcher andere Pflanzen etioliren, hervorgehenden Pflänzchen eigentlich keine Finsterkeimlinge sind, sondern bei ausserordentlich geringen Helligkeiten ergrünen.

Diese Erwartung hat sich nun nicht erfüllt. Die angestellten Versuche haben also zum Verständniss der Chlorophyllbildung in den Finsterkeimlingen der Coniferen nichts beigetragen; hingegen hatte ich die Freude, durch meine zahlreichen und mühevollen Experimente eine höchst merkwürdige, weil höchst einfache Beziehung zwischen Lichtintensität

---

[1]) Bot. Zeitung 1861, pag. 258, Anmerkung.

[2]) Sachsse, Sitzungsberichte der naturforschenden Gesellschaft zu Leipzig 1876, pag. 39 ffd.

und Ergrünen (natürlich solcher Pflanzen, welche des Lichtes zur Chlorophyllbildung benöthigen) aufzufinden, welche sich in folgender Weise präcisiren lässt. Bei allen jenen Pflanzentheilen, welche die Fähigkeit zu raschem und lebhaftem Ergrünen besitzen und welche in der Weise frei dem Lichte exponirt sind, dass die chlorophyllführenden Gewebe nur durch eine zarte für Licht fast völlig durchlässige Oberhaut gedeckt sind; bei all' diesen Pflanzentheilen erlischt die chlorophyllerzeugende Kraft bei einem und demselben Minimum der Lichtintensität.

Da meine Versuche die Aufgabe hatten, die zur Chlorophyllbildung nöthigen Intensitäten zu prüfen und nicht jene Helligkeiten, welche eine Pflanze zum Ergrünen braucht, so musste ich für meine Experimente offenbar die Pflanzen besonders auswählen. Es ist ja von vornherein verständlich, dass jenes Licht, welches das Periderm eines Stammes zu durchsetzen hat, um im dahinter liegenden Rindenparenchym die Chlorophyllbildung einzuleiten, eine grössere Intensität besitzen muss, als ein Licht, welches in einem einjährigen Stengel derselben Pflanze, in welchem das Rindenparenchym bloss von einer völlig durchsichtigen Epidermis bedeckt ist, Ergrünung hervorruft; selbst unter der Voraussetzung, dass in beiden Fällen die gleichen Helligkeiten zur Entstehung des grünen Pigments erforderlich wären.

Ich musste trachten Versuchspflanzen ausfindig zu machen, bei welchen die chlorophyllführenden Gewebe nur von einem ganz dünnen, völlig durchsichtigen Epithel oder einer derartigen Oberhaut bedeckt sind und die in diesem Zustande, also nicht etwa durch andere Organe vor directer Beleuchtung geschützt, unmittelbar der Wirkung des Lichtes ausgesetzt werden konnten. Hiezu fand ich Keimlinge von Monocotylen und Dicotylen besonders geeignet. Ich liess dieselben im Dunkeln keimen und nachdem die Cotylen, beziehungsweise die Primordialblätter freilagen, wurden sie der Beleuchtung ausgesetzt. Die ergrünenden Organe dieser Versuchspflänzchen genügten den an sie gestellten Bedingungen auf das vollständigste, wesshalb ich ausschliesslich mit diesen experimentirte.

Als Lichtquelle benützte ich Gasflammen, welche unter constantem Drucke brannten und eine constante Helligkeit hatten. Ich konnte so die Versuche beliebig lang ausdehnen und beliebig unterbrechen. Ich hatte es in meiner Gewalt, wenn es nothwendig war, eine beliebige Helligkeit tagelang auf die Pflanzen wirken zu lassen.

Bei den zunächst zu beschreibenden Versuchen verwendete ich eine Gasflamme, welche unter dem Drucke von 13·5 Millim. Wassersäule in constanter Helligkeit (= 6·5 Walrathkerzen) brannte. Die Versuchspflänzchen befanden sich auf feuchtgehaltenem Filterpapier vegetirend, in Geschirren aus gebranntem Thon, deren Seitenwände keine Spur von für das Auge wahrnehmbarem Lichte durchliessen und die während des Versuchs mit Lichtschirmen bedeckt waren. Diese Lichtschirme bestanden aus Glasplatten, die mit transparentem Papier von constanter Lichtdurchlässigkeit, nämlich mit einer ausgewählten Sorte von sog. Stroh- oder Pausepapier überzogen waren. Der obere Rand jedes Thongefässes wurde mit Sorgfalt eben abgeschliffen, so dass die Schirme dicht aufgelegt werden konnten. Da die Schirme über die Ränder der Geschirre weit hinausragten und die Gefässe stets von oben beleuchtet wurden, auf dunklem Grunde standen und zudem alle Versuche in einem vor Tageslicht völlig geschützten Raum ausgeführt wurden, so konnte ausser dem durch den Schirm einfallenden Lichte kein anderes in die Gefässe eindringen.

Die Glasplatten waren überzogen mit 1—64 Pausepapierplatten oder mit einer Lage einer Papiersorte, welche auf ihre Lichtdurchlässigkeit geprüft, mit einer bestimmten Anzahl von Pausepapierplatten übereinstimmte. Es wurde sorgfältig eine Sorte von weissem Papier ausgewählt, welche in einfacher Lage genau 4 Pausepapierplatten äquivalent war.

Um die Helligkeiten, welche bei Anwendung dieser Lichtschirme in den Thongefässen herrschten, wenigstens einigermassen zu charakterisiren, führe ich folgende Beobachtungen an. Ich stellte mich der zum Versuche benützten Leuchtgasflamme in jener Entfernung (1·5 Meter) gegenüber, welche bei den Versuchen die Keimpflänzchen von der Licht-

quelle trennte, und sah durch die dicht an die Schirme angelegte Fassung eines Mikroskop-Oculars, mein Auge vor seitlich einfallendem Lichte schützend, nach der Gasflamme. Auf diese Art prüfte ich der Reihe nach die Lichtdurchlässigkeit der durch die mit 1, 2, 3, etc. Pauseplatten bedeckten, hier der Kürze halber mit 1, 2, 3, etc. bezeichneten Schirme und constatirte folgendes:

Schirm 1. Stark durchscheinend.
„ 4. Matt durchscheinend.
„ 15. Sehr matt durchscheinend.
„ 24. Schwacher Schein.
„ 28. Sehr schwacher Schein.
„ 31. Eben noch merklicher Schimmer.
„ 36. Das durchgehende Licht ist auf den ersten Blick gar nicht wahrnehmbar, sondern erst nach 1—2 Secunden.
„ 44. Erst nach 10—20 Secunden erkennt man im Gesichtsfelde die Spur eines Lichtschimmers.
„ 45 und ffd. Keine Spur von Licht mehr wahrnehmbar.
„ 44 entspricht in der Lichtdurchlässigkeit einem Stück frischer, entschälter Kartoffel von 52 Millim. Dicke.

Die zur Aufnahme der Pflänzchen benützten Thongefässe waren nahezu cylindrisch. Die kreisförmige, von einem centimeterweiten Loche durchbrochene Basis hatte einen Durchmesser von 5·5—7·5, der obere, gleichfalls kreisförmige Rand von 6·5—8 Centim. Das Volum der Gefässe betrug etwa 500 bis 900 Cub.-Cent.; für die kleinen Keimpflänzchen wurden die kleineren, für die höher aufschiessenden die grösseren Thongefässe benützt.

Am Grunde der Geschirre befand sich Filterpapier, auf welchem die Samen nach vorhergegangener Aufquellung zum Keimen gebracht wurden. Die Feuchthaltung des Substrates während des Versuchs konnte ohne Beseitigung der Schirme und zwar in der Weise bewerkstelligt werden, dass die Gefässe auf grossen seichten Schalen standen und hier in eine mehrere Millim. hohe Wasserschichte tauchten. Das capillar gehobene Wasser genügte, um die Thongefässe und das Filterpapier stets feucht zu halten.

Dass die von den Keimlingen exhalirte, aus den Geschirren nicht sofort entweichende Kohlensäure eine zu geringe war, um ungünstig auf den Ergrünungsprocess der in den Gefässen vegetirenden Pflänzchen wirken zu können, davon überzeugte ich mich auf mehrfache Weise. In den Geschirren neben den Pflänzchen in Glasgefässen befindliche, zur Absorption der Kohlensäure bestimmte Kalistücke oder Kalilauge beförderte das Ergrünen nicht. Durch zeitweiliges Aspiriren bewerkstelligter Luftwechsel in den seitlich mit dicht einpassenden Glasröhren versehenen, zur Aufnahme der Versuchspflänzchen dienlichen Geschirren brachte ebenfalls kein rascheres Ergrünen hervor. Endlich sei noch erwähnt, dass die in den Thongefässen aufgestellten, aber nicht mit einem der Schirme, sondern mit einer einfachen durchsichtigen Glasplatte bedeckten Pflänzchen rasch und intensiv ergrünten, ebenso rasch und intensiv, als wären sie frei dem Gaslichte exponirt gewesen. Diese Wahrnehmungen bestimmten mich bei den nun folgenden Versuchen von einer eigens eingeleiteten Beseitigung der Kohlensäure abzusehen.

Die Versuche wurden mit folgenden 14 Species angestellt:

Iberis amara	Cotylen. [1])
Pyrethrum aureum	„
Silene pendula	„
Cheiranthus Cheiri	„ und Primordialblätter. [2])
Cannabis sativa	„ „ „
Pisum sativum	Primordialblätter. (Die Cotylen der Erbse ergrünen entweder gar nicht oder nur sehr schwer.)
Hordeum sativum	Primordialblätter.
Zea Mais	„
Convolvulus tricolor	Cotylen.
Mirabilis Jalappa	Cotylen und Primordialblätter.

[1]) d. h. es wurde die Zeitdauer bis zum Ergrünen der Cotylen dieser Pflanze festgestellt.

[2]) d. h. die Beobachtungen über das Ergrünen wurden sowohl an den Cotylen als an den Primordialblättern angestellt.

Reseda odorata Cotylen.
Impatiens balsamina „
Lepidium sativum „
Cucurbita Pepo „

Cotylen von *Iberis amara.*

		Beginn des Ergrünens		Lebhaftes Ergrünen	
Schirm	o [1])	nach	4·5 Stunden,	nach	8·75 Stund.
„	4	„	10 „	„	72—x „
„	8	„	25 „	„	172 „
„	12	„	48—x „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.	
„	16	„	72—x „	„	„ „ „
„	20	„	120—x „	„	„ „ „
„	24	„	144—x „	„	„ „ „
„	25	„	172 „	„	„ „ „
„	28	„	244 „	„	„ „ „
„	29	„	244 „	Hier war das Auftreten des Chlorophylls nur noch durch die Fluorescenzprobe zu constatiren.	

Hinter Schirm 30 erfolgte gar kein Ergrünen mehr.

Temperatur 15—18° C.

Cotylen von *Silene pendula.*

		Beginn des Ergrünens		Lebhaftes Ergrünen	
Schirm	o	nach	3 Stunden	nach	4·5 Stunden
„	1	„	4 „	„	6 „
„	2	„	5·5 „	„	10 „
„	4	„	6·5 „	„	24—x „
„	8	„	10 „	„	48—x „
„	12	„	24—x „	„	72—x „
„	16	„	32 „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.	
„	20	„	58 „	„	„ „ „
„	24	„	72 - x „	„	„ „ „
„	28	„	96 —x „	„	„ „ „
„	29	Kein Ergrünen mehr, auch nicht durch die Fluorescenzprobe erweislich.			

Temperatur 16·5—18° C.

---

[1]) d. h. die Gefässe, welche zur Aufnahme der Versuchspflänzchen dienten, waren bloss mit einer durchsichtigen Glasplatte bedeckt.

Cotylen von *Cannabis sativa*.

Schirm	o	Beginn des Ergrünens	Lebhaftes Ergrünen	Temp. 17·5—19·5° C.
„	4	nach 7 Stunden,	nach 10 Stunden	
„	8	„ 10 „	„ 47 „	
„	16	„ 24 „	„ 74 „	
„	28	„ 48—x „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.	
„	29	„ 120—x „	Bloss durch Fluorescenz nachgewiesen.	
		Kein Ergrünen mehr, auch nicht durch Fluorescenz nachweisbar.		

Primordialblätter von *Pisum sativum*.

Schirm	o	Beginn des Ergrünens	Lebhaftes Ergrünen	Temperatur 18·5—19·5° C.
„	4	nach 3 Stunden,	nach 7 Stund.	
„	8	„ 7 „	„ 48—x „	
„	12	„ 30 „	„ 72—x „	
„	16	„ 48—x „	„ 172 „	
„	20	„ 72—x „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.	
„	24	„ 72—x „	„ „ „ „	
„	28	„ 96—x „	„ „ „ „	
„	29	„ 124 „	„ „ „ „	
		„ 124 „	Spur durch Fluorescenz.	

Primordialblätter von *Hordeum vulgare* Nr. 1.

Schirm	o	Beginn des Ergrünens	Lebhaftes Ergrünen	Temperatur 16—18·5° C.
„	4	nach 2 Stunden,	nach 3·5 Stunden	
„	8	„ 4 „	„ 12 „	
„	12	„ 6 „	„ 24—x „	
„	16	„ 8 „	„ 48—x „	
„	20	„ 12 „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.	
„	24	„ 24—x „	„ „ „ „	
„	28	„ 48—x „	„ „ „ „	
„	29	„ 120—x „	„ „ „ „	
		„ 144 „	Spur durch Fluorescenz erweislich.	

Primordialblätter von *Hordeum vulgare* Nr. 2.

Schirm	o	Beginn des Ergrünens		Lebhaftes Ergrünen		
„	4	nach	5 Stunden	nach	12	„
„	8	„	7 „	„	27	„
„	12	„	10 „	„	52	„
„	16	„	? „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.		
„	20	„	27 „	„	„	„ „
„	24	„	48—x „	„	„	„ „
„	28	„	127 „	„	„	„ „
„	29	„	144—x „	Spur durch Fluorescenz.		

Temperatur 14·5—16·5° C.

Cotylen von *Mirabilis Jalappa.*

Schirm	o	Beginn des Ergrünens		Lebhaftes Ergrünen		
„	4	nach	4·5 Stunden	nach	?	„
„	8	„	11 „	„	24—x	„
„	12	„	30 „	„	48—x	„
„	16	„	50·5 „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.		
„	20	„	56 „	„	„	„ „
„	28	„	72—x „	„	„	„ „
„	29	„	96—x „	Spur durch Fluorescenz.		

Temperatur 15·5—16° C.

Cotylen von *Impatiens Balsamina.*

Schirm	o	Beginn des Ergrünens		Lebhaftes Ergrünen		
„	1	nach	1·75 Stunden	nach	4·5	„
„	4	„	3 „	„	24—x	„
„	8	„	6 „	„	48—x	„
„	12	„	24—x „	Kein Ergrünen mehr.		
„	20	„	48—x „	„	„	„
„	28	„	96—x „	„	„	„
„	29	„	120—x „	Spur durch Fluorescenz.		
„	30					

Temperatur 17—19° C.

Cotylen von *Cucurbita Pepo*.

		Beginn des Ergrünens		Lebhaftes Ergrünen		
Schirm	0	nach	9·5 Stunden	nach	47 Stunden	Temp. 15·5—17° C.
„	4	„	47 „	„	74 „	
„	8	„	74 „	„	120 „	
„	16	„	92—x „	Kein lebhaftes Ergrünen mehr.		
„	20	„	96 „	„	„ „ „	
„	28	„	240 „	Spur durch Fluorescenz.		

Zu dieser Darstellung meiner Versuchsergebnisse seien mir noch folgende Bemerkungen gestattet. Die Beobachtungen wurden nur während des Tages angestellt, so dass manche der angeführten Zeitwerthe zu gross ausfielen; sie wurden dadurch ersichtlich gemacht, dass der betreffenden Ziffer ein —x nachgesetzt wurde.

Die Feststellung des Eintrittes der Ergrünung erforderte von Zeit zu Zeit ein Abheben der Schirme, wobei die Pflänzchen mehrmals kurze Zeit hindurch der Beleuchtung diffusen Tageslichtes ausgesetzt waren. Um den Eintritt des Ergrünens möglichst sicher constatiren zu können, wurden die Pflänzchen mit frischen etiolirten Keimlingen der gleichen Art sorgfältig verglichen, was jedesmal einen Zeitaufwand von 5—15 Secunden erforderte. Es schien mir nun fraglich, ob durch diese allerdings nur kurze Zeit andauernde stärkere Beleuchtung nicht ein Fehler in die Beobachtung hinein gerieth. Zu diesem Behufe stellte ich je 2 Gefässe *a* und *b*, welche Pflänzchen derselben Aussaat enthielten und mit derselben Schirmsorte bedeckt waren, auf, und bestimmte in *a* durch zeitweiliges Abheben der Schirme den Eintritt des Ergrünens, während *b* die ganze Versuchszeit hindurch bedeckt blieb. Als ich nunmehr von *b* den Schirm entfernte, konnte ich auch hier bereits den Beginn des Ergrünens wahrnehmen. Es zeigte sich also, dass die Einwirkung des diffusen Tageslichtes auf die Pflänzchen während der Beobachtungen doch zu kurz währte, um eine merkliche Beschleunigung des Ergrünens der Versuchspflänzchen herbeizuführen, wesshalb ich die ursprünglich projectirte Durchführung von Parallelversuchen unterliess.

Ich habe aus meinen zahlreichen einschlägigen Versuchen, welche mehrere Monate in Anspruch nahmen, nur einige wenige oben angeführt. Ich wählte nicht besonders aus, sondern nahm die ersten besten. Ich habe bei den anderen, hier nicht mitgetheilten Versuchen dieselben Resultate erhalten. Ich fand nämlich bei allen von mir untersuchten Pflanzen, dass bei derselben Helligkeit, welche durch die constant unter einem Drucke von 13·5 Millim. brennende Flamme und die constante Entfernung der Flamme von den Versuchspflänzchen (1·5 Met.) einerseits, anderseits durch die Schirme 28—30 gegeben war, die chlorophyllbildende Kraft des Lichtes verlosch. Fast immer war es Schirm 29, welcher die geringste zur Chlorophyllbildung eben noch ausreichende Helligkeit den Versuchspflänzchen darbot. Dass in einzelnen, indess durchaus nicht gerade auf bestimmte Pflanzen beschränkten Fällen, schon bei Anwendung von Schirm 28 die Grenze für die Helligkeit zum Ergrünen erreicht war, in andern aber erst bei Benützung von Schirm 30, liegt offenbar nur in der Rohheit der Methode, welche ein schärferes Resultat als das gewonnene schon von vornherein nicht erwarten liess.

Es könnte gegen die von mir benützte Methode eingewendet werden, dass, weil das im Versuche wirkende Licht durch ein System von Platten hindurchging, auf die Pflanzen polarisirtes Licht fiel, welches möglicherweise ganz andere Wirkungen hervorbringt als gemeines, ferner, dass bei Anwendung der Schirme nicht mehr ungemischtes, sondern in die Gefässe Licht von einer Brechbarkeit eindrang, welches an sich zur Chlorophyllbildung nur wenig geeignet ist.

Was den ersten Punkt anlangt, so bemerke ich, dass besondere Versuche über den Einfluss des polarisirtes Lichtes auf die Pflanze lehrten, dass dasselbe sich nicht anders als gemeines Licht verhält [1]). In Betreff des zweiten Punktes muss ich aber anführen, dass soweit es möglich war, die

[1]) Nach Privatmittheilungen Askenasy's an Adolf Meyer. Vergl. des Letzteren Lehrbuch der Agriculturchemie, 1876, pag. 50.

Schirme spectroskopisch zu prüfen, ich Grün-Roth durch dieselben hindurchgehen sah, welche Farben ja für die Chlorophyllbildung mehr als die übrigen Strahlengattungen leisten. Es hatte selbst das Licht sehr geringer und geringster Helligkeit, wie es die Schirme 30—44 lieferten, für das freie Auge keinen besonderen Farbenton. Die Schirme wirkten zweifellos vor allem lichtschwächend und absorbirten, so weit sich dies spectroskopisch erweisen liess, nur Licht von einer Brechbarkeit, welches der Chlorophyllbildung günstig ist.

Es darf wohl angenommen werden, dass in allen jenen Fällen, in welchen die Chlorophyllbildung bei einem bestimmten Helligkeitsgrade verlischt, der chemische Process ein ganz bestimmter ist, und weiter gefolgert werden, dass in jenen Fällen, in denen für die Erzeugung der grünen Substanz unter sonst gleichen äusseren Versuchsbedingungen ein anderes Helligkeitsminimum existirt, auch andere sonstige Bedingungen für die Entstehung des Chlorophylls vorhanden sind. Selbstverständlich sind dort, wo die Bildung des Chlorophylls gar nicht an das Licht geknüpft ist, wieder andere Entstehungsbedingungen anzunehmen.

Versuche, welche ich mit dem Ergrünen der Kartoffelknollen im Lichte anstellte, haben nun gelehrt, dass hier in der That andere Helligkeiten zur Entstehung des Chlorophylls erforderlich sind als zum Ergrünen der Cotylen, beziehungsweise der Primordialblätter der oben aufgeführten 14 Angiospermen.

Es ist bekannt, dass die Kartoffeln im Sonnenlichte und auch im hellen diffusen Tageslichte lebhaft unter der Schale ergrünen. Wenn ich dünnschalige Kartoffeln im feuchten Raume, mit einem Glassturze überdeckt, so aufstelle, dass das Sonnenlicht täglich durch einige Stunden auf die Knollen fällt, so nehme ich die ersten Spuren des Ergrünens schon nach 2—3 Tagen wahr. Im diffusen Tageslichte muss man unter diesen Bedingungen oft eine Woche und länger warten bis die Chlorophyllbildung sich constatiren lässt. Die Zeit bis zum Ergrünen lässt sich abkürzen, wenn man das Periderm mit einem Skalpell abschabt, was bei den im feuchten Raume

aufgestellten Knollen ohne jede Beschädigung des Phellogens geschehen kann. In meinen Versuchen über die Beziehung der Helligkeit zur Chlorophyllbildung in der Kartoffel bin ich stets in dieser Weise vorgegangen. In der vorsichtig abgeschabten Kartoffel war dann das chlorophyllerzeugende Gewebe (das äussere, selten das ganze Grundgewebe der Knollen) bloss von einem ganz durchsichtigen Phellogen bedeckt, welches dem Durchtritte des Lichtes gewiss nur einen ganz unmerklichen Widerstand entgegensetzte.

Ich habe nun weiter constatirt, dass das Ergrünen der Kartoffel auch im Gaslichte vor sich geht. Die Knollen befanden sich bei diesen Versuchen im feuchten Raume unter durchsichtigen Recipienten, 1·5 Meter von einer unter einem Drucke von 13·5 Millim. mit constanter Helligkeit brennenden Gasflamme entfernt. Die Temperatur während der Versuche schwankte zwischen 14—19° C. innerhalb eines Zeitraumes von 6 Wochen.

Die Wirkung verschiedener Helligkeiten auf das Ergrünen der Kartoffel gibt sich in sehr auffälliger Weise kund. Am Sonnenlichte ergrünen die Kartoffeln — so viel ich constatiren konnte — bis etwa 1 Centim. unter der Schale. Dem diffusen Lichte ausgesetzt gewesene Knollen fand ich bloss bis zu einer Tiefe von 4—5 Millim. ergrünt. In den tiefer liegenden Partien des Parenchyms liess sich nicht einmal mehr durch Fluorescenz die Gegenwart des Chlorophylls constatiren. Im Gaslichte durch Wochen gelegene Kartoffeln zeigen allerdings eine deutliche Grünfärbung; allein bei mikroskopischer Untersuchung findet man, dass es nur die äussersten, hart unter dem Phellogen gelegenen Parenchymzellen sind, welche Chlorophyll erkennen lassen. Häufig genug konnte ich an im Gaslicht gelegenen Knollen, welche für das freie Auge merklich grün erschienen, selbst bei der genauesten mikroskopischen Untersuchung nur hie und da Chlorophyllbildung in den Zellen constatiren.

Man sieht hier auf den ersten Blick, dass die Kartoffel für das Ergrünen ein auffällig grösseres Lichtbedürfniss besitzt, als etwa die ergrünungsfähigen Blätter der Monocotylen und

Dicotylen. Dieser Bedarf an stärkerem Lichte kann in einer etwaigen geringen Durchlässigkeit des die chlorophyllerzeugenden Parenchymzellen bedeckenden Hautgewebes nicht gelegen sein, denn wenn man das Periderm von im feuchten Raume aufbewahrten Knollen sorgfältig, wie es bei diesen Versuchen ja auch immer geschah, beseitigt und dann einen etwas dicken Tangentialschnitt durch das oberflächliche Gewebe des Knollens führt, so sieht man durch das Phellogen hindurch mit voller Deutlichkeit die darunterliegende Parenchymzelle.

Dass zum Ergrünen der Kartoffel ein grösseres Helligkeitsminium erforderlich ist, als zur Chlorophyllbildung der gewöhnlichen lebhaft ergrünenden Vegetationsorgane, ersieht man aus folgenden mit demselben Erfolge oftmals wiederholten Versuchen. Ein für das freie Auge merkliches Ergrünen der Kartoffel erfolgt allerdings bei Anwendung der Schirme 1—6; von hier ab wird das Ergrünen unsicher. Bei Verwendung der Schirme 7—8 konnte ich in einigen Fällen durch mikroskopische Betrachtung noch eine Spur von Chlorophyll wahrnehmen oder in den weingeistigen Extracten, bereitet aus den oberflächlichen Gewebsschichten der Knollen, durch die Fluorescenzprobe ersichtlich machen; bei Benützung der Schirme von 9 aufwärts wollte es mir nicht mehr gelingen.

Es sei erlaubt, an dieser Stelle einige Beobachtungen über das Auftreten des Chlorophylls in den Geweben der Kartoffel einzuschalten.

Man weiss seit längerer Zeit durch die Untersuchungen von v. Mohl[1]), Schacht[2]) und Böhm[3]), dass unter der Schale der Kartoffel im Lichte nicht nur das Protoplasma der Zellen ergrünet (sogenanntes formloses Chlorophyll bildend), sondern auch die Stärkekörnchen sich mit grünen Hüllen umgeben, welche letztere indess nichts weiter sind, als die Amy-

---

[1]) Vegetab. Zelle, pag. 204.

[2]) Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen I., p. 64.

[3]) Sitzungsberichte der Wiener Akademie, Bd. 22, pag. 492 ffd.; Bd. 37, pag. 477.

lumkörperchen umgebende hyaline oder körnige durch Chlorophyll tingirte Protoplasmazonen. Sehr treffend hat Sachs [1]) diese mit grünem Protoplasma umkleideten Stärkekörnchen falsche Chlorophyllkörner genannt, zum Unterschiede von den echten, bei welchen bekanntlich das Chlorophyllkorn das primäre, der Stärkeinschluss das secundäre ist, während sich bei ersteren die Sache gerade umgekehrt verhält.

In einer kürzlich erschienenen kleinen Arbeit [2]) habe ich nun das Entstehen des farblosen Chlorophylls und der sogenannten falschen Chlorophyllkörner genauer verfolgt; ferner auch die Thatsache constatirt, dass in der am Lichte ergrünenden Kartoffel auch echte Chlorophyllkörner auftreten. Sie erscheinen in den plasmareichen noch mit Zellkernen versehenen Parenchymzellen, welche knapp hinter dem Phellogen gelegen sind. Diese echten Chlorophyllkörner sind rundlich oder elliptisch und unterscheiden sich von den mit grünen Hüllen versehenen Stärkekörnchen sofort durch ihr auffällig geringes Lichtbrechungsvermögen. Ihr Durchmesser beträgt etwa 0.003 bis 0·006 Mm.; nicht selten führen sie kleine Vacuolen. Sie treten in der Zelle meist gruppenweise auf, manchmal den Zellkern umgebend. In den Zellen, welche echte Chlorophyllkörner führen, habe ich niemals falsche Chlorophyllkörner oder sogenanntes formloses Chlorophyll gesehen.

In Kartoffeln, welche im Dunkeln aufbewahrt wurden, werden diese echten Chlorophyllkörner oft vorgebildet. Sie erscheinen als ungefärbte oder schwach gelbliche, scharf differenzirte Protoplasmakörperchen, welche die Reactionen der Eiweissstoffe zeigen, und dürfen wohl als Etiolinkörner gedeutet werden.

---

[1]) Experimentalphysiologie, pag. 315.

[2]) Oesterr. bot. Zeitschrift 1877, Nr. 1.

VII.

Verschiedenes Lichtbedürfniss beim Ergrünen verschiedener Pflanzen.

Es ist seit lange bekannt, dass der zum Ergrünen verschiedener Pflanzen nöthige Lichtbedarf ein verschiedener ist.

So sagt z. B. Meyen[1]): „Manche Pflanzen brauchen viel, andere wenig Licht zum Ergrünen."

Aehnlich spricht sich Sachs[2]) aus: „Das Lichtquantum, welches verschiedene Pflanzen zum Ergrünen brauchen, ist gewiss verschieden."

Präciser hat sich hierüber Hofmeister[3]) ausgesprochen. Er sagt a. a. O.: „Das Mass der zum Ergrünen erforderlichen Lichtintensität ist für verschiedene Pflanzen ein sehr ungleiches. Während z. B. Cerealien, Hülsenfrüchte u. v. A. des vollen Tageslichtes bedürfen, genügt eine äusserst geringe Lichtmenge zum Hervorrufen der grünen Farbe vieler Schattenpflanzen[4]), insbesondere cryptogamischer. So entwickeln z. B. *Hymenophyllum Tunbridgense, Conomitrium julianum, Vaucheria sessilis,* Prothallien von *Polypodiaceen* lebhaft grüne neue Organe bei einer Beleuchtung, die nicht hinreicht. das Lesen grober Schrift zu ermöglichen."

Diese Citate besagen aber nicht mehr, als dass die des Ergrünens fähigen Organe verschiedener Pflanzen ein verschiedenes Lichtbedürfniss zur Entstehung des in ihrem Inneren vorkommenden Chlorophylls zeigen. Die Frage, ob die Chlorophyllsubstanz an sich, je nachdem sie die Chlorophyllkörner der einen oder andern Pflanze tingirt, zum Entstehen eine grössere oder geringere Helligkeit benöthigt, oder ob das Blattgrün in

---

[1]) Neues Syst. der Pflanzenphysiologie II., pag. 434.

[2]) Flora 1862, pag. 213.

[3]) Pflanzenzelle, pag. 366.

[4]) Hierüber vgl. die älteren Angaben, z. B. bei Hundeshayen, Lehrbuch der land- und forstwirthschaftlichen Botanik, 1829; Röper, in der Uebersetzung der Pflanzenphysiologie von De Condolle, 1833 I., pag. 354; De Condolle, l. c., pag. 304.

allen des Lichtes zur Chlorophyllbildung überhaupt benöthigenden Pflanzen unter den gleichen Lichtverhältnissen entsteht, ist bis jetzt meines Wissens noch nicht aufgeworfen worden.

Ehe ich an dieselbe herantrete, möchte ich nur vorerst bemerken, dass zum Ergrünen von Pflanzen natürlich sowohl eine gewisse Lichtmenge als eine grosse Lichtintensität erforderlich ist; allein in unserer Frage handelt es sich bloss um die letztere. Bei genügend lange andauernder Beleuchtung erfolgt das Ergrünen von einer bestimmten Intensität des Lichtes an; unterhalb derselben ist das Licht an sich, wie lange es auch auf den des Ergrünens fähigen Theil einwirken möge, zur Chlorophyllbildung ungeeignet. Dies geht aus den im vorigen Capitel mitgetheilten Thatsachen hervor.

Dort ist aber auch gezeigt worden, dass bei allen zum Versuche genommenen Keimlingen, bei welchen das Chlorophyll unter günstigen Bedingungen rasch und reichlich entsteht und in Form von leicht ergrünungsfähigen Chlorophyllkörnern zur Ausbildung gelangt, die Fähigkeit des Lichtes zur Bildung der grünen Substanz bei einer und derselben Lichtintensität erlischt, also auch bei einer und derselben Lichtintensität beginnt. Diese Thatsache gibt uns den Schlüssel zur Erklärung des verschiedenen Lichtbedürfnisses ergrünender Pflanzen.

Sowohl in den ergrünenden Cotylen als in den ergrünenden Primordialblättern der Versuchspflanzen treten die Chlorophyllkörner in Gewebslagen auf, welche nur von einer zarten durchsichtigen Oberhaut bedeckt sind. Bei der geringen Mächtigkeit der letzteren und der Dünnwandigkeit der die Chlorophyllkörner beherbergenden Parenchymzellen lässt sich annehmen, dass die Intensität des auf die Chlorophyllkörner wirkenden Lichtes in allen Versuchen bei Anwendung der gleichen Schirme dieselbe gewesen ist. Anders ist die Sache bei den Laubblättern, den grünen Stengeln und den übrigen grünen Vegetationsorganen, welche eine solche Mannigfaltigkeit in ihrer Organisation und ebenso in ihrer Stellung zu den benachbarten Organen darbieten, dass sich schon von vornherein vermuthen

lässt: es würden, eine gleiche Beleuchtung von aussen vorausgesetzt, die in diesen verschiedenen Organen auftretenden Chlorophyllkörner ungleichen Helligkeiten ausgesetzt sein.

Das Chlorophyll ist eine sehr lichtempfindliche Substanz. Ich habe bei anderer Gelegenheit nachgewiesen [1]), dass stark verdünnte Chlorophylllösungen bei Gegenwart von Sauerstoff im hellen Lichte sich mit ausserordentlicher Geschwindigkeit verfärben. Da das lebende Chlorophyllkorn im Sonnenlichte Sauerstoff ausscheidet, so ist wohl nicht zu bezweifeln, dass in der stark belichteten Pflanze Chlorophyll zerstört werden muss. Es ist auf Letzteres meines Wissens zuerst von Sachs [2]) aufmerksam gemacht worden. Er zeigte, dass die Zerstörung des Chlorophylls im Lichte bei besonders hoher Intensität des letzteren so weit gehen kann, dass ein Verbleichen der grünen Organe sich bemerklich macht. Besonders empfindlich in dieser Beziehung fand er Mais- und Tabakpflanzen. Es sind später durch Untersuchungen von Askenasy [3]), Sorby [4]), mir [5]), Batalin [6]) und G. Haberlandt [7]) zahlreiche Thatsachen über die Zerstörung des Chlorophylls in der lebenden Pflanze, hervorgerufen durch allzu intensive Beleuchtung, gesammelt worden, welche einen Zweifel an der Zerstörbarkeit des Chlorophylls in der lebenden Pflanze wohl nicht mehr zulassen.

Ich darf es wohl, ohne mich einer Uebertreibung schuldig zu machen, aussprechen, dass meine Beobachtungen hierüber

---

[1]) Sitzungsberichte d. Wiener Akademie d. Wissenschaften, Bd. 69 (16. April 1874).

[2]) Ueber das abwechselnde Erblassen und Dunklerwerden der Blätter bei wechselnder Beleuchtung. Berichte der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften, 1859, pag. 226 ffd.

[3]) Bot. Zeitung, 1867, p. 229 und 1875, p. 457—460; p. 473—481; p. 496—499.

[4]) Procedings of the Royal Society. Vol. XXI., Nr. 146.

[5]) l. c., ferner: Die natürl. Einrichtungen zum Schutze des Chlorophylls der lebenden Pflanze. Festschrift der k. k. zool. bot. Ges. 1876.

[6]) Bot. Zeitung, 1874, pag. 433 ffd.

[7]) Untersuchungen über die Winterfärbung ausdauernder Blätter. Sitzungsberichte der Wiener Akad. d. Wissenschaften, Bd. 72, April 1876.

die eingehendsten sind, und namentlich habe ich die Sache in einer Weise aufgefasst, welche für die folgenden Darlegungen sich am fruchtbarsten erweist.

Wie schon angeführt, habe ich gefunden, dass sehr verdünnte Chlorophylllösungen sich im hellen Lichte bei Gegenwart von Sauerstoff ausserordentlich rasch verfärben, und ferner constatirt, dass concentrirte Chlorophyllösungen bei gleichen Lichtverhältnissen und ebenfalls ungehemmtem Zutritt von Sauerstoff eine auffällige Resistenz zeigen. So wird beispielsweise das grüne Pigment, eine concentrirte Auflösung des Chlorophylls in Terpentinöl, erst nach mehr als 13stündiger Wirkung des Sonnenlichtes zerstört, während eine mit dem 12fachen Volum Terpentinöl verdünnte Lösung — bei den gleichen äusseren Verhältnissen — schon nach 12 Minuten verfärbt ist, so dass sich nicht einmal mehr Spuren des Chlorophylls in der Lösung durch Fluorescenz nachweisen lassen.

Ich habe ferner in den beiden genannten Abhandlungen nachgewiesen, dass sich jugendliche, im Ergrünen befindliche Chlorophyllkörner, was die Zerstörbarkeit des grünen Pigments durch das Licht anlangt, so wie verdünnte Chlorophylllösungen, herangewachsene ergrünte so wie concentrirte Chlorophylllösungen verhalten. Das grüne Pigment der ersteren wird im Lichte sehr rasch zerstört, das der letzteren hingegen zeigt eine auffällige Resistenz gegen die Wirkung des Lichtes.

Diese Beobachtungen haben nun ganz naturgemäss dahingeführt, nachzusehen, welche Einrichtungen in der Pflanze getroffen sind, um die jugendlichen, im Ergrünen begriffenen Chlorophyllkörner der Einwirkung grellen Lichtes zu entziehen. Ich habe, wie nicht anders zu erwarten, mannigfaltige derartige Einrichtungen aufgefunden. Auf die Details meiner einschlägigen Untersuchungen will ich hier nicht eingehen, sondern verweise auf meine Abhandlung [1]); und nur zum besseren Verständniss meiner Auffassung über das verschiedene Lichtbedürfniss beim Ergrünen verschiedener Pflanzen lasse ich hier einige typische Beispiele folgen.

---

[1]) Die natürl. Einrichtungen etc., pag. 40—48 (Sep. 22—30).

Im tiefen Schatten lebende Gewächse zeigen in der Regel keinerlei in der Organisation gelegene Schutzmittel zur Erhaltung des Chlorophylls; z. B. im Schatten lebende Moose, Schattenform der *Lysimachia Nummularia* u. v. a.

Das Chlorophyll mancher Pflanzen ist durch das Hautgewebe vor Zerstörung durch das Licht geschützt, so sind z. B. die Oberseiten der Blätter von *Tussilago Farfara* und anderer Pflanzen nur so lange mit einem dichten Haarfilz bedeckt, als die Ergrünung der Chlorophyllkörner des Mesophylls noch fortschreitet. Unter dem Schutze des lichtdämpfend wirkenden Haarüberzuges ergrünen die Chlorophyllkörner bei der genannten Pflanze bekanntlich sehr stark; wenn sie sattgrün zu werden beginnen, lockert sich der Ueberzug immer mehr und mehr und fällt schliesslich gänzlich ab.

Die verschiedene Faltung und Einrollung der die Knospe verlassenden Blätter erweist sich gleichfalls als eine Schutzeinrichtung zur Erhaltung des Chlorophylls. Schieben sich die Blätter flach aus der Knospe hervor und treten sie direct an's helle Licht, so erfolgt, falls sie nicht durch Haarüberzüge oder in anderer Weise gegen zu starke Beleuchtung geschützt sind, nur ein langsames, schwieriges Ergrünen, wie z. B. bei der Fichte.

Ausserordentlich häufig zeigen, wie ich dargelegt habe, junge im Ergrünen begriffene Blätter starken negativen Geotropismus und nehmen erst später, wenn sie schon völlig oder nahezu ergrünt sind, heliotropische Stellungen an; z. B. die Blätter des Oleanders, die meisten rosettenförmig angeordneten Wurzelblätter, die Grasblätter u. s. w. Es ist wohl unverkennbar, dass die Jugendstellung der ergrünenden Blätter solcher Gewächse die Wirkung intensiven durch hohen Sonnenstand bedingten Lichtes paralysirt. Bei der stark aufrechten Lage dieser Blattorgane fallen die Strahlen der Mittagssonne nur unter kleinen Winkeln auf die Blattfläche, wodurch ihre Wirksamkeit sehr beträchtlich verringert werden muss.

Sehr häufig stehen junge ergrünende Blätter so lange unter dem Schutze anderer, bis sie völlig oder nahezu vollständig ergrünt sind und werden dann erst vom Lichte direct

getroffen. Junge Laubblätter werden oft von älteren oder von grossen Nebenblättern bedeckt; unter dem Schutze der letzteren stehen bei manchen Pflanzen (z. B. bei der Erbse) ganze ergrünende Sprosse.

Bei der *Robinia Pseudoacaia* stehen die Reizbewegungen der Fiederblätter im Dienste der Erhaltung des Chlorophylls. Bei mässiger Beleuchtung, z. B. bei Morgensonne stehen die Fiederblättchen in einer sehr günstigen Lage zum einfallenden Lichte. Die Strahlen treffen entweder genau senkrecht oder doch unter sogenannten guten Winkeln auf die Blätter, welche letztere nunmehr reichlich Licht für die Assimilation bekommen, aber ein Licht, welches eine kräftig zerstörende Wirkung auf das Chlorophyll nicht auszuüben vermag, da die den periodischen Reizbewegungen unterworfenen Blätter der *Robinia Pseudoacaia* unter normalen Verhältnissen schon lebhaft ergrünt sind, also ziemlich resistente Chlorophyllkörner besitzen, während die im Ergrünen begriffenen Blätter durch ihre aufrechte Lage und ihre Behaarung vor starker Lichtwirkung geschützt sind. Erhebt sich die Sonne und steigert sich hierbei bei klarem Himmel die Lichtintensität, so richten sich die Fiederblätter auf, die Winkel, welche die Lichtstrahlen nunmehr mit der Blattfläche einschliessen, werden kleiner, in Folge dessen sinkt die Menge des vom Blatte durchgelassenen Lichtes: die grüne Substanz der Chlorophyllkörner ist der zerstörenden Kraft des Lichtes entrückt.

Diese wenigen, aber charakteristischen Beispiele zeigen wohl auf das klarste, dass nicht nur für einen ausgiebigen Schutz ergrünender Chlorophyllkörner Sorge getragen ist, sondern dass die grünen Organe, je nach ihrer Organisation eine grössere oder geringere Lichtwirkung ohne erheblichen Verlust an Chlorophyll zu ertragen im Stande sind. Den mangelhaftesten Schutz gegen Lichtwirkungen weisen gerade jene Pflanzen auf, welche wegen ihres natürlichen Vorkommens an schattigen Orten auch nur den geringsten Lichtwirkungen ausgesetzt sind. Der ausgiebigste Schutz ist hingegen an jenen Pflanzen zu bemerken, welche an ihren natürlichen Stand-

plätzen starken und lange andauernden Lichtwirkungen unterworfen sind.

Diese meine Beobachtungen, zusammengehalten mit dem im letzten Capitel dargelegten Ergebnisse meiner Untersuchungen über die geringsten zum Entstehen des Chlorophylls ausreichenden Lichtintensitäten, erlauben wohl folgende Anschauung in Betreff des verschiedenen, beim Ergrünen verschiedener Pflanzen sich kundgebenden Lichtbedürfnisses zu präcisiren. Das Chlorophyll an sich zeigt bei leicht und stark ergrünungsfähigen Pflanzen dem Lichte gegenüber stets das gleiche Verhalten, entsteht und besteht unter den gleichen Bedingungen, stets innerhalb derselben bestimmten Lichtintensitäten. Die Pflanze, welcher es angehört, ist dabei gleichgiltig. Wenn wir aber dennoch finden, dass diese grünen Gewächse ein verschiedenes Lichtbedürfniss beim Ergrünungsprocesse zeigen, wenn wir sehen, dass bei verschiedenen Pflanzen das Ergrünen bei verschiedenen Helligkeiten des äusseren Lichtes vor sich geht, so liegt der Grund hiefür nicht etwa in einem verschiedenen Verhalten des Chlorophylls, sondern in dem Verhältnisse, in welchem dasselbe mit Protoplasma verbunden als Chlorophyllkorn in den Geweben und den Organen der Pflanze angeordnet ist, welche Verhältnisse es mit sich bringen, dass das Chlorophyll der Gewebe mehr oder weniger von jenem Lichte empfängt, welches auf die betreffende Pflanze fällt.

VIII.

Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung bei constanten äusseren Bedingungen. Photochemische Induction bei der Entstehung des Chlorophylls.

Schon im sechsten Capitel habe ich mehrere Beobachtungen über den Eintritt des Ergrünens verschiedener Pflanzen bei nahezu constanten äusseren Bedingungen mitgetheilt. Bei gleichbleibender Helligkeit und einer bloss zwischen 14·5—19·5° C.

schwankenden Temperatur erfolgte nach den dort mitgetheilten Beobachtungen ein schon mit freiem Auge wahrnehmbares Ergrünen innerhalb 1—9·5 Stunden.

Nachfolgende Zusammenstellung möge für eine grössere Zahl von Pflanzen das schon in jenem Abschnitte dieser Schrift angedeutete Verhältniss anschaulich machen.

Es beginnt das Ergrünen — nach Schätzung mit unbewaffnetem Auge — bei einer Temperatur von 14·5—19·5° C., einer Helligkeit der Gasflamme von 6·5 Walrathkerzen und einer Entfernung der Keimlinge von der unter einem Drucke von 13·5 Millim. Wassersäule brennenden Gasflamme von 1·5 Met. nach folgenden Zeiten:

Beobachteter Pflanzentheil			Zeitwerth bis zum Eintritt des Ergrünens
Cotylen	von	*Impatiens Balsamina*	1 Stunde
Primordialblätter	„	*Hordeum vulgare*	2—2·5 Stunden
Cotylen	„	*Raphanus sativus*	3 „
Primordialblätter	„	*Pisum sativum*	3 „
Cotylen	„	*Silene pendula*	3 „
„	„	*Mirabilis Jalapa*	3·5 „
Primordialblätter	„	*Zea Mais*	3·75 „
Cotylen	„	*Iberis amara*	4·5 „
„	„	*Pyrethrum aureum*	4·5 „
„	„	*Cheiranthus Cheiri*	4·5 „
„	„	*Lepidium sativum*	4·5 „
„	„	*Reseda odorata*	5 „
Primordialblätter	„	*Cannabis sativa*	6·25 „
Cotylen	„	*Convolvulus tricolor*	6·5 „
„	„	*Cannabis sativa*	7 „
„	„	*Cucurbita pepo*	9·5 „

Die zum Versuche verwendeten Keimlinge wurden in tiefster Finsterniss auferzogen und sofort der Beleuchtung ausgesetzt, nachdem die auf das Ergrünen zu prüfenden Organe frei lagen, also z. B. bei Mais, nachdem die ergrünungsfähigen Blätter die Scheide, bei Kürbis, nachdem die Cotylen die Samenschale durchbrochen hatten. Ich betone dies, weil mit der Alterszunahme etiolirter Keimlinge die

Ergrünungsfähigkeit immer mehr und mehr abnimmt, und schliesslich erlischt. Auch zu allen übrigen hier namhaft gemachten Versuchen wurden stets nur ganz frische etiolirte Keimlinge genommen.

Die grosse Empfindlichkeit der optischen Chlorophyllreactionen liess annehmen, dass das Chlorophyll in den Pflanzen viel früher auftritt, ehe es für ein auch noch so empfindliches Auge erkennbar wird; ja man kann es durch eine geschickte Versuchsanstellung dahin bringen, die ersten Spuren des in den ergrünungsfähigen Organen der Pflanze auftretenden Chlorophylls ausfindig zu machen.

Anfänglich benützte ich zur Auffindung des Beginnes der Chlorophyllbildung die Fluorescenz der alkoholischen, aus den zu prüfenden Pflanzentheilen dargestellten Extracte, und gab dieser Probe die möglichste Feinheit dadurch, dass ich Sonnenlicht durch eine Sammellinse in die durch Ausschüttlung mit Benzol auf ein möglichst kleines Volum reducirten Auszüge fallen liess. Diese Methode liess an Genauigkeit nichts zu wünschen übrig; allein sie forderte Sonnenlicht, das eben nicht immer zu haben ist, wenn man es braucht. Ich versuchte dann auf Fluorescenz mit dem von einer Magnesiumlampe ausgehenden Lichte zu prüfen. Man bekömmt durch Magnesiumlicht, namentlich wenn die vom Reflector kommenden Strahlen durch eine passend angebrachte Sammellinse concentrirt werden, noch in sehr verdünnten Chlorophyllösungen Fluorescenz; aber dieses Verfahren steht an Empfindlichkeit weit hinter dem vorhergehenden.

Nach mehrfachen anderen Versuchen prüfte ich die Feinheit des spectroskopischen Nachweises des Chlorophylls und erhielt so befriedigende Resultate, dass ich dieses Verfahren zur Bestimmung des ersten Auftretens des Chlorophylls erwählte. Ich fand nämlich, dass, wenn ich ein Chlorophyllextract soweit verdünnte, dass seine Farbe völlig verschwand, und ich eben noch bei Anwendung von Sonnenlicht durch Fluorescenz die Gegenwart des Chlorophylls feststellen konnte, die so verdünnte Lösung bei einer Schichtendicke von etwa 50 Millim. den Absorptionsstreifen I des Chlorophyllspectrums im Gaslichte noch erkennen liess.

Schüttelte ich nun diese Lösung mit etwa $^1/_3$ von Benzol aus, so trat in diesem das Band mit grosser Deutlichkeit hervor. Aus der alkoholischen Lösung war der Absorptionsstreifen verschwunden; es konnte also keinem Zweifel unterliegen, dass der beobachtete Streifen dem Chlorophyll angehörte, und nicht etwa einer Absorption des Xanthophylls zuzuschreiben war.

Die Auswahl der Keimlinge zu den Versuchen über das erste Auftreten des Chlorophylls erfordert die grösste Aufmerksamkeit, da die Pflänzchen, wenn sie nicht mit aller Sorgfalt im völligen Dunkel aufgezogen wurden, schon Spuren von Chlorophyll enthalten. Es wurden nur solche Aussaaten etiolirter Keimlinge zum Versuche zugelassen, welche nach dem eben angegebenen Verfahren geprüft, keine Spur von Chlorophyll ergaben.

Es wurden an 60 Versuchsreihen durchgeführt, zum grössten Theile vom Herrn Assistenten Mikosch, welcher die mühevolle Arbeit mit der grössten Gewissenhaftigkeit und Umsicht besorgte. Nicht nur die Auswahl der Versuchspflänzchen, auch die Reinigung der zur Darstellung der Extracte und zur Aufnahme der für die spectroskopisch zu prüfenden Flüssigkeiten dienlichen Gefässe erforderte die peinlichste Sorgfalt, wollte man nicht in grobe Irrthümer verfallen.

Die völlig chlorophyllfreien Keimlinge wurden im Gaslichte bei einer fast constanten Temperatur von 17·5—18·4° C. aufgestellt. Die Gasflamme hatte die in unseren Versuchen gewöhnliche constante Helligkeit von 6·5 Wallrathkerzen und brannte unter 13·5 Mill. Druck. Die Entfernung der Pflänzchen von der Flamme betrug 1·5 Meter.

Die auf Chlorophyll zu prüfenden Pflänzchen wurden von 10 zu 10 Minuten, nach Bedarf auch von 5 zu 5 Minuten oder auch nach kürzeren Zeiten den Aussaaten entnommen. Je nach der Grösse der Pflänzchen wurden zu einer Probe 10 (Bohne) bis 100 (Kresse) Individuen genommen, im Mörser unter Aufguss von 4opercentigem Alkohol zerdrückt, filtrirt und dem Volumen nach etwa mit dem dritten Theil Benzol ausgeschüttelt. Der Benzolauszug wurde in eine Glaswanne gebracht, in welcher die Schichtendicke der Flüssigkeit etwa 50 Millimeter

betrug, durch eine Gasflamme beleuchtet, und nunmehr spectroskopisch untersucht.

Die erste Spur von Chlorophyll trat auf bei:

Hafer	(Primordialblätter)	nach	5	Minuten
Gerste . . .	„	„	10	„
Mais		„	20	„
Kresse . . .	(Cotylen)	„	25	„
Rettig . . .	„	„	25	„
Erbse	(Primordialblätter)	„	25	„
Kürbis . . .	(Cotylen)	„	35	„
Gartenwinde	„	„	35	„
Schminkbohne	„	„	45	„

Bei Kürbis machte ich folgende interessante Wahrnehmung. Keimlinge, deren Wurzeln schon 1—2 Cent. Länge hatten und deren Cotylen die Samenschalen zu durchbrechen begannen, von den Schalen befreit, liessen selbst nach 400 Minuten noch keine Spur von Chlorophyll erkennen, während ältere Keimlinge, die sich von selbst ihrer Samenhüllen entledigten, wie schon bemerkt, nach 35 Minuten Chlorophyll führten. Die künstlich von den Samenschalen befreiten Keimlinge hatten weisse, die letztgenannten lebhaft gelb gefärbte Cotylen. Erstere enthielten Anfangs kein Etiolin und erst nachdem die betreffenden Pflänzchen 100—200 Minuten im Lichte standen, war dasselbe spectroskopisch erweislich. Die Keimlinge, welche selbstständig ihre Samenhüllen abgestreift hatten, waren hingegen reich an Etiolin, wie schon die lebhaft gelbe Farbe ihrer Cotylen lehrte. Dieses rasche Entstehen des Chlorophylls in etiolinreichen und das späte Auftreten in solchen Kürbiskeimlingen, die erst nach und nach Etiolin bilden, ist wohl ein neuer Beweis für die oben (Cap. II) aufgestellte Behauptung, dass das Chlorophyll aus dem Etiolin hervorgeht.

Ob das Chlorophyll nicht vielleicht bei anderen Helligkeiten noch rascher gebildet wird, als hier angeführt wurde, müssen spätere Beobachtungen lehren. Aus meinen Erfahrungen kann ich nur anführen, dass im mässig intensiven Sonnenlichte die ersten Spuren des Ergrünens sich langsamer einfinden und dass auch im hellen diffusen Tageslichte angestellte

Ergrünungsversuche nicht zu einem rascheren Auftreten des Chlorophylls führten.

Ueber die Beschleunigung der Chlorophyllbildung durch erhöhte Temperatur bei den in den hier mitgetheilten Versuchen wirkenden Helligkeiten werde ich in dem Capitel über den Einfluss der Temperatur auf das Ergrünen berichten. —

Ich habe mir die Frage vorgelegt, ob beim Process der Chlorophyllbildung, welcher, soferne er vom Lichte abhängig, ein photochemischer ist, nicht jene merkwürdige Wirkungsweise des Lichtes sich bethätigt, welche von Bunsen und Roscoe[1]) entdeckt und mit dem Namen photochemische Induction belegt wurde. Die beiden Forscher fanden, dass in einem frischbereiteten Gemenge von Chlor- und Wasserstoffgas im Beginne der Bestrahlung durch eine Lichtquelle nicht sofort Salzsäure gebildet wird, sondern dass die Verbindung dieser beiden Elemente erst nach einiger Zeit stattfindet, die Menge der neugebildeten Salzsäure aber continuirlich bis zu einem gewissen Maximum fortschreitet[2]). Sie haben ferner constatirt, dass die ersten Wirkungen der photochemischen Induction desto später nachweislich werden und die Maximumwirkung desto später eintritt, je geringer die Lichtstärke ist[3]) und umgekehrt, und endlich auch bewiesen, dass die Induction mit dem Eintritte der Verdunkelung nicht plötzlich aufhört, sondern nach einem bestimmten Gesetze abnimmt[4]).

Bei der Feinheit der optischen Reactionen auf Chlorophyll und dem Umstande, dass dieselben auch zu vergleichenden quantitativen Bestimmungen herangezogen werden können, war von vorneherein die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, die gestellte Frage zu lösen.

---

[1]) Photochemische Untersuchungen 3. Abhandl. 2. Erscheinungen der photochemischen Induction. Pogg. Annalen, Band 10 (1857), pag. 481 ffd.

[2]) l. c., pag. 483.

[3]) l. c., pag. 491.

[4]) pag. 494 ffd.

Im Verlaufe der Untersuchungen hat es sich aber herausgestellt, dass die endgiltige Lösung dieser Frage auf ausserordentliche Schwierigkeiten stösst, namentlich die Auffindung der Maximumwirkung einer etwa vorhandenen photochemischen Induction bei der Entstehung des Chlorophylls.

Thatsächlich lässt sich nachweisen, dass bei allen jenen Helligkeiten, welche eine Zerstörung des entstehenden Chlorophylls nicht zulassen, die Chlorophyllbildung desto später eintritt, je geringer die Intensität der Lichtquelle ist. Ich verweise hierüber auf die Versuche auf p. 67 ffd. und füge denselben noch folgende lehrreiche Versuchsreihe bei, die sich auf frische etiolirte Haferpflänzchen bezieht. In nachstehenden Columnen bedeutet D den Druck, unter welchem die im Versuche dienliche Leuchtgasflamme brannte, E die Entfernung der Flamme von den Versuchspflänzchen, Z die Zeit nach welcher nach Ausweis der spectroskopischen Probe die Chlorophyllbildung sich einstellte. Die Temperatur schwankte bloss zwischen 18·2—19·0° C.

D	E	Z
13·5 Millim. Wassersäule	1·5 Meter	5 Minuten
4 „	1·5 „	40 „
4 „	2·5 „	80 „
4 „	3·5 „	160 „

Ferner constatirte ich, dass selbst bei Anwendung von Keimlingen, bei welchen die Chlorophyllbildung mit grosser Geschwindigkeit erfolgt, im Beginne der Lichtwirkung niemals die Gegenwart von Chlorophyll sich constatiren lässt, sondern dass stets eine kürzere oder längere Zeit verfliesst, bis sich die ersten Spuren dieses Körpers nachweisen lassen. Denn wenn man ein grosses Quantum, etwa 500—600 Gerstenkeimlinge, nach 3—5 Minuten andauernder Beleuchtung mit möglichst wenig Alkohol auszieht und mit einem möglichst kleinen Quantum von Benzol ausschüttelt, um das etwa vorhandene Chlorophyll auf das möglichst geringste Volum zu reduciren, so findet man bei spectroskopischer Prüfung auch nicht eine Spur des Absorptionsstreifens I oder Fluorescenz.

Ich habe auch die Beobachtung gemacht, dass etiolirte Keimlinge, welche eine Zeit hindurch aber nicht so lange beleuchtet wurden, als dass es bis zur Chlorophyllbildung gekommen wäre, im Finstern bei Ausschluss jeder Wärmestrahlung eine Spur von Chlorophyll erzeugen. Die Keimlinge, welche zu diesen Versuchen dienten, wurden durch einige Zeit beleuchtet und dann in zwei Partien getheilt. Eine Partie diente zur Prüfung auf Chlorophyll; die Versuche mit der zweiten wurden erst dann als beweiskräftig angesehen, wenn in der ersten sich keine Spur von Chlorophyll nachweisen liess. Die zweiten wurden in einem an sich schon dunklen Zimmer in einem Holzschrank, von einem undurchsichtigen Recipienten bedeckt, aufgestellt. Das Zimmer, in welchem der Versuch gemacht wurde, hatte durch mehrere Tage hindurch fast ganz constante Temperatur, und im Kasten selbst liess sich durch ein Thermometer mit geschwärzter Kugel keine Erhöhung der Temperatur erkennen. Wärmestrahlung Seitens der Wände des Holzschrankes oder des Recipienten [1]) gegen die Versuchspflanzen hin war mithin ausgeschlossen. Die Versuchspflänzchen standen in einer Finsterniss, welche die Chlorophyllbildung unmöglich machte, wie ich mich durch zahlreiche nebenher gemachte Versuche überzeugte. Ein etwa auftretendes Ergrünen konnte somit nicht auf Kosten von Wärmestrahlen gesetzt werden, welche eine eingeleitete Chlorophyllbildung fortzusetzen befähigt sind, sondern musste als Wirkung photochemischer Induction aufgefasst werden.

Ich machte derartige Versuche mit Gerste und Mais. Frische Keimlinge dieser Pflanzen wurden durch 5, beziehungsweise 15 Minuten im Gaslichte (13·5 Mm. Druck) stehen gelassen und hierauf in's Dunkle gebracht: in der Mehrzahl der Fälle liess sich nach 20, beziehungsweise 30 Minuten Chlorophyll durch die spectroskopische Prüfung entdecken.

---

[1]) Dieselben standen durch Wochen hindurch in demselben Schranke; es liess sich desshalb annehmen, dass sie die Temperatur der Luft des Kastens angenommen hatten.

Dass in einzelnen Fällen im Finstern kein Ergrünen eintrat, dürfte wohl in der individuellen Beschaffenheit der Versuchspflänzchen zu suchen sein. Es kömmt ja bei einer und derselben Aussaat nicht selten auch vor, dass bei sehr geringen Helligkeiten einzelne Keimlinge sichtlich nicht ergrünen, während die übrigen eine für das freie Auge erkennbare Farbe annehmen.

Es sei hier noch bemerkt, dass die Chlorophyllmengen, welche in Folge photochemischer Induction in früher belichtet gewesenen aber noch unergrünten Keimlingen im Dunkeln entstehen, nur durch die optische Prüfung (auf Absorption oder Fluorescenz) entdeckt werden können und so weit meine Erfahrungen reichen, sich nie so weit steigern, wie dies durch dunkle Wärmestrahlen, wenn dieselben als *rayons continuateurs* wirken, möglich ist. Hier erfolgt, wie oben (pag. 49) gezeigt wurde, ein schon für das freie Auge erkennbares Ergrünen.

Was die Auffindung der Maximumwirkung der photochemischen Induction bei der Chlorophyllbildung anlangt, so wurden die zeitraubenden und mühevollen Untersuchungen hierüber in folgender Weise ausgeführt.

Eine bestimmte Aussaat der Versuchspflanzen (Gerste und Mais) wurde in's Gaslicht gestellt, von Zeit zu Zeit wurde eine bestimmte Anzahl der Versuchspflänzchen (30 bei Gerste, 10 bei Mais) knapp über den Fruchtresten abgeschnitten, mit Alkohol unter Zerdrückung im Mörser erschöpft, dies Extract abfiltrirt, und die festen Rückstände in einem vorher getrockneten und gewogenen Filter gesammelt. Das Filtrat wurde unter Zusatz von Alkohol so lange verdünnt, bis vom Absorptionsstreifen I eben nur noch eine Spur erkennbar war, der feste Rückstand aber zur Bestimmung der Trockensubstanz verwendet. Durch Vergleich der Flüssigkeitsvolumina, die durch die spectroskopische Prüfung alle auf gleichen Chlorophyllgehalt gebracht wurden, und Reduction des Volums der Chlorophylllösungen auf die gleiche Trockensubstanz konnte die in bestimmten Zeitabschnitten erfolgte Zunahme der Chlorophyllmenge festgestellt werden.

Es wurden im Ganzen 7 Versuchsreihen angestellt, 3 mit Mais, 4 mit Gerste, die aber kein präcises Resultat ergaben. Es stellte sich allerdings eine grosse Steigung in der nach und nach gebildeten Chlorophyllmenge ein; allein es zeigten sich im übrigen erhebliche Unregelmässigkeiten, die allerdings in der Rohheit der Methode zum Theile ihren Grund haben mögen, die aber anderseits gewiss auch darauf hindeuten, dass neben der photochemischen Induction selbst bei völlig gleich bleibenden äusseren Vegetationsbedingungen noch andere, zweifellos innere, d. h. im Organismus der Versuchspflänzchen thätige Umstände die Zunahme der Chlorophyllmengen beeinflussen.

Die Annahme einer photochemischen Induction bei der Entstehung des Chlorophylls erscheint nach den obigen Mittheilungen über die Verzögerung der Chlorophyllbildung im geschwächten Lichte und über die Entstehung von kleinen Chlorophyllmengen in durch kurze Zeit beleuchtet gewesenen etiolirten Pflänzchen, wenn selbe bei Ausschluss von Wärmestrahlung in's Dunkle gebracht wurden, berechtigt. Ein Bild über den bei der Chlorophyllbildung stattfindenden Gang der Induction bei gleicher Lichtstärke und auch sonst gleichen äusseren Vegetationsbedingungen lässt sich indess nach der benützten Methode nicht gewinnen. Dies bleibt ferneren Untersuchungen überlassen, welche auch darüber Entscheidung bringen werden, in wie weit auch bei den anderen in der Pflanze stattfindenden vom Lichte abhängigen chemischen Processen eine photochemische Induction betheiligt ist.

IX.

Einfluss der Temperatur auf die Chlorophyllbildung.

Wie so viele andere pflanzenphysiologische Fragen, so wurde auch diese zuerst von Sachs [1]) in Angriff genommen.

[1]) Experimentalphysiologie, pag. 10 ffd. Lehrbuch, 3. Aufl., p. 636.

Er fand, dass etiolirte Keimlinge von *Phaseolus multiflorus* und *Zea Mais* eine Temperatur von mehr als 6° C. benöthigen, um zu ergrünen, während etiolirte Keimlinge von *Brassica Napus* schon zwischen 3—5° C. Chlorophyll bilden. Die obere Grenze der Lufttemperatur für das Ergrünen liegt nach den Beobachtungen des genannten Forschers bei *Phaseolus multiflorus* oberhalb 33° C., bei *Zea Mais* bei oder oberhalb 34°, bei *Allium Cepa* bei 33—36° oder darüber. Aus diesen Versuchen ist zu folgern, dass die untere Temperaturgrenze für die Chlorophyllbildung verschiedener Pflanzen eine verschiedene ist, und es scheint, als würde auch für die obere Temperaturgrenze das Gleiche gelten. Sachs hat ferner constatirt, dass an allen von ihm beobachteten etiolirten Pflanzen das Ergrünen bei höheren Temperaturen rascher als bei niederen eintritt. So beginnt z. B. nach seinen Wahrnehmungen das Ergrünen etiolirter Maiskeimlinge bei 25—34° C. schon nach 1·5, bei 16—17° C. erst nach 7 Stunden u. s. w. Auf die während der Versuche herrschenden Helligkeiten wurde wohl Rücksicht genommen, sofern nämlich constatirt wurde, ob die Keimlinge schwachem oder hellem Tageslichte ausgesetzt waren. Sachs fasst seine diesbezüglichen Versuchsergebnisse folgendermassen zusammen: „Bei gleicher Beleuchtung beschleunigt die steigende Temperatur den Vorgang (der Chlorophyllbildung)".

Bei dem tiefeingreifenden Einfluss der Helligkeit des Lichtes auf die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung können Helligkeitsangaben, wie solche in den Sachs'schen Versuchen vorliegen, nicht mehr ausreichen. Ich glaube auch, dass das Tageslicht, welches vielen für das Auge nicht erkennbaren Helligkeitsschwankungen unterworfen ist [1]), zu genauen einschlägigen Versuchen sich weniger als künstliche Lichtquellen eignet.

Es wurde schon mehrfach hervorgehoben, dass im Gaslichte rasches und intensives Ergrünen eintritt. Ich habe desshalb meine Versuche über den Einfluss der Temperatur

---

[1]) Wiesner. Einfluss des Lichtes und der dunklen Wärme auf die Transspiration. Sitzungsber. d. Wr. Akad. d. Wiss. Bd. 74, 1876, 20. Juli.

auf die Chlorophyllbildung im Gaslichte constanter Helligkeit ausgeführt. Auf welche Weise ich constant helles Licht erhielt, ist oben schon mitgetheilt worden. [1]) Ich bemerke nur, dass ich in allen Versuchen nur eine Flamme benützte, welche unter dem Drucke einer Wassersäule von 13·5 Millim. mit einer Helligkeit von 6·5 Wallrathkerzen brannte und dass die Entfernung zwischen Flamme und Versuchspflanze stets 1·5 Met. betrug. Unter diesen Verhältnissen ergrünten die Pflanzen rasch und lebhaft (bei günstiger Temperatur), und es wirkte die Flamme bei der Herstellung constanter Lufttemperatur nicht störend.

Die nachfolgend mitgetheilten mühevollen und zeitraubenden Versuchen habe ich gemeinschaftlich mit Herrn Th. v. Weinzierl ausgeführt.

Zu den Versuchen wurden nur junge, vollkommen frische Keimlinge verwendet, welche in tiefster Finsterniss aufgewachsen waren. Jede Aussaat wurde vorerst spectraliter untersucht und zum Experiment erst zugelassen, wenn sich in den mit Benzol ausgeschüttelten alkoholischen Auszügen keine Spur von Chlorophyll nachweisen liess.

Die Aufzucht der Versuchspflänzchen erfolgte bei einer Temperatur von 14—16° C. Vor dem Beginne jedes Versuches wurden die Keimlinge im Finstern durch einige Zeit ($^1/_2$ bis 1 Stunde) bei jener Temperatur, bei welcher die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung geprüft werden sollte, belassen und dann erst, nachdem also die Pflänzchen nahezu die Temperatur des Versuchsraumes angenommen hatten, durch Einwirkung des Lichtes der Versuch begonnen. Die Temperatur des Versuchsraumes wurde an einem vor der Wirkung der Strahlung geschützten Thermometer bestimmt, welches in jener Entfernung von der Flamme frei aufgehängt war, welche im Versuche die Pflänzchen von der Lichtquelle trennte.

Die Herstellung der Temperatur bis 20 Grad C. erfolgte durch Ventilation und Heizung verschiedener Räumlichkeiten des Instituts. Für höhere Temperatur wurde ein geräumiges

[1]) Genauere Angaben hierüber brachte ich l. c. Sep.-Abdr. pag. 5.

Luftbad mit doublirten Wänden von etwa 0·25 Kub.-Meter Inhalt benützt, welches in einem constant temperirten Locale aufgestellt war und durch Gasflammen regulirbarer Brenner auf die im Versuche gewünschte Temperatur gebracht wurde. Bei einer Temperatur über 30° C. wurde in das Luftbad je nach Bedürfniss ein oder mehrere flache mit Wasser gefüllte Gefässe gestellt, um durch Steigerung der Luftfeuchtigkeit eine allzustarke Transpiration der Versuchspflänzchen unmöglich zu machen.

Die Herstellung constanter Temperaturen über 20° machte keine Schwierigkeiten; wohl aber die von tiefer liegenden Wärmegraden, und zwar um so mehr, als bei diesen das Ergrünen langsam vor sich geht, und es nothwendig wird, die Temperatur für relativ längere Zeiträume constant zu erhalten. Wir waren hier u. A. von der Witterung und auch von den Verhältnissen der Localitäten des Instituts abhängig.

An manchen Tagen konnten bestimmte Temperaturen schlechterdings nicht erhalten werden. Dies mag es entschuldigen, wenn die nachfolgenden Versuchsreihen nicht stets vergleichbar erscheinen.

Es wird sich aber alsbald herausstellen, dass dies wenigstens insoferne nicht störend wirkt, als jede einzelne Versuchsreihe das Gesetz über die Beziehung zwischen Temperatur und Ergrünungsgeschwindigkeit klar ausdrückt.

Bei den zunächst zu schildernden Versuchen wurde der Eintritt des Ergrünens durch den Vergleich mit einem etiolirten Keimling derselben Aussaat vorgenommen, und das Erscheinen des Chlorophylls als constatirt angesehen, wenn der im Lichte befindliche Keimling, mit dem aus dem Dunkel gebrachten verglichen, einen eben merklichen grünlichen Farbenton zu erkennen gab.

Je nachdem die Vorversuche lehrten, dass die Chlorophyllbildung in kürzeren oder längeren Zeiträumen eintritt, wurden in den einzelnen genauen Versuchsreihen die Vergleiche der zu prüfenden Pflänzchen mit den etiolirten von 5 zu 5 oder von 10 zu 10 oder endlich von 20 zu 20 Minuten vorgenommen.

t = Temperatur, Z = Zeitdauer bis zum Erkennbarwerden des Ergrünens.

Versuche mit Gerstenkeimlingen [1]).

t	Z
2— 4 Grad Cels.	Es tritt noch kein Ergrünen ein.
4— 5 „ „	7 Stunden 15 Minuten
5 „ „	6 „ 50 „
5— 6 „ „	5 „ — „
8— 9 „ „	4 „ — „
10 „ „	3 „ 30 „
13 „ „	2 „ — „
18—19 „ „	1 „ 40 „
30 „ „	1 „ 35 „
35 „ „	1 „ 30 „
37—38 „ „	4 „ — „
40 „ „	Kein Ergrünen durch das Auge mehr erweislich.
45 „ „	
50 „ „	

Diese Versuchsreihe wurde mehrmals wiederholt und immer fast genau dieselben Resultate erhalten.

Versuche mit Haferkeimlingen.

t	Z
4— 5 Gr. Cels.	Es tritt noch kein Ergrünen ein.
5— 6 „ „	8 Stunden 15 Minuten
13 „ „	3 „ 10 „
18 „ „	2 „ 10 „
30 „ „	2 „ 20 „
35 „ „	2 „ 45 „
40 „ „	Die Pflanzen verlieren bei dieser Temperatur in 2—3 Stunden ihren Turgor, bevor noch Chlorophyllbildung nachweisbar ist.
45 „ „	

[1]) Die Keimlinge der Gramineen wurden bei diesen Versuchen stets erst zum Versuche verwendet, nachdem die ergrünungsfähigen Blätter die Scheide durchbrochen hatten und um 1—2 Centim. überragten.

Versuche mit Maiskeimlingen.

t	Z
8 Gr. Cels.	Es tritt noch kein Ergrünen ein.
10 „ „	3 Stunden — Minuten
13 „ „	3 „ — „
18 „ „	2 „ 25 „
30 „ „	1 „ 45 „
35 „ „	1 „ 40 „
40 „ „	2 „ 35 „
45 „ „	Kein Ergrünen mehr.

Versuche mit Kressekeimlingen.[1])

t	Z
1— 2 Gr. Cels.	Kein Ergrünen.
7 „ „	
8 „ „	
10 „ „	5 Stunden — Minuten
13 „ „	3 „ 35 „
18 „ „	2 „ 10 „
30 „ „	2 „ — „
40 „ „	3 „ 30 „
45 „ „	Die Pflanzen verlieren nach 3—4 St. ihren Turgor, ohne früher ergrünt zu sein.

Versuche mit Rettigkeimlingen.

t	Z
1— 2 Gr. Cels.	Kein Ergrünen.
5— 6 „ „	5 Stunden — Minuten
10 „ „	4 „ 20 „
13 „ „	3 „ 20 „
18 „ „	2 „ 10 „
30 „ „	2 „ — „
35 „ „	1 „ 45 „
40 „ „	1 „ 50 „
45 „ „	2 „ 30 „
50 „ „	Kein Ergrünen.

[1]) Bei Kresse und Rettig wurde das Ergrünen an den Cotylen, bei der Erbse hingegen an den Primordialblättern festgestellt.

Versuche mit Erbsenkeimlingen.

t		Z		
3— 4 Gr. Cels.	—	Kein Ergrünen.		
4— 5 „ „	7	Stunden	15	Minuten
10 „ „	6	„	—	„
13 „ „	5	„	—	„
18 „ „	4	„	10	„
30 „ „	4	„	—	„
35 „ „	3	„	35	„
40 „ „	4	„	30	„

Zahlreiche Beobachtungen dieser fünf Versuchsreihen wurden mehrmals wiederholt und es wurde jedesmal ein fast gleiches Resultat erhalten.

Diese Versuche lassen wohl keinen Zweifel darüber, dass die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung nicht einfach mit der Temperatur des umgebenden Mediums wächst, sondern dass für das Ergrünen der Pflanzen drei Fixpunkte der Temperatur zu unterscheiden sind: ein unterer Nullpunkt, d. i. jener Temperatursgrad, bei welchem die Chlorophyllbildung anhebt, ein Optimum, d. h. jener Wärmegrad, bei welchem die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung ihr Maximum erreicht, und endlich ein oberer Nullpunkt, oberhalb welchem kein Ergrünen mehr eintritt. Die Versuche lehren ferner, dass die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung vom unteren Nullpunkt bis zum Optimum continuirlich steigt und von hier bis zum oberen Nullpunkt continuirlich fällt [1]).

---

[1]) Die von Sachs (Experimentalphysiologie, pag. 11) ausgesprochene Vermuthung, „dass bei gleicher Beleuchtung das Ergrünen dem Quadrate der Temperatur proportional fortschreite," wird durch die mitgetheilten Zahlen nicht unterstützt.

Von der unteren Temperaturgrenze an bis zum Optimum geht bei allen untersuchten Pflanzen die Chlorophyllbildung weiter und führt zu einem deutlichen bis lebhaften Ergrünen. Ueber dem Optimum kömmt es häufig, namentlich in der Nähe des oberen Nullpunktes nicht mehr zu einer solchen ausgiebigen Bildung des Chlorophylls. Offenbar werden durch jene hohen Temperaturen Störungen im Organismus der Pflanzen hervorgerufen, welche schliesslich auch der Neubildung des Chlorophylls eine Grenze setzen.

Diese Störungen, welche zunächst ihren Ausdruck darin finden, dass die Pflanze ihren Turgor verliert, sind bei manchen Pflanzen, z. B. bei Hafer, zweifellos auch die Ursache der verhältnissmässig tief liegenden oberen Temperaturgrenze für das Ergrünen.

Die Aufsuchung der unteren und oberen Nullpunkte für das Ergrünen, mit Zuhilfenahme des Spectroskops [1]) hat noch niedrigere, beziehungsweise höhere Temperaturwerthe ergeben als die Prüfung mit freiem Auge.

Die unteren Nullpunkte sind für verschiedene Pflanzen, wie schon Sachs gefunden, verschieden. Es stand dieses Resultat auch wohl zu erwarten.

Mit vorliegender Untersuchung ist aber für die Frage über die in den Geweben bei der Chlorophyllbildung herrschenden Wärmeverhältnisse noch nichts gewonnen. Die Bearbeitung dieses schwierigen Gegenstandes muss der Zukunft überlassen werden. —

Ich führe hier noch einige Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung bei gleicher Helligkeit und verschiedenen Temperaturen an, welche an etiolirten Gerstenpflänzchen nach Ausweis der spectroskopischen Prüfung gewonnen wurden.

Die Versuche wurden im Gaslichte, und zwar bei derselben Helligkeit, wie in den vorher beschriebenen vorgenommen.

---

[1]) Vergl. über die Methode dieser Untersuchungen oben pag. 84 ffd.

t und Z haben die gleiche Bedeutung wie oben.

t			Z	
1—2	Gr.	Cels.	Kein	Ergrünen
3	„	„	„	„
4—5	„	„	20	Minuten
7	„	„	15	„
10	„	„	13	„
13	„	„	10	„
18	„	„	10	„
30	„	„	10	„
35	„	„	5	„
40	„	„	15	„
45	„	„	18	„
50	„	„	25	„
55	„	„	Spur (?)	

X.

Ist die Kohlensäure bei der Entstehung des Chlorophylls betheiligt?

Wie schon oben erwähnt, hat Sachsse [1]) die Ansicht aufgestellt, dass das Chlorophyll die Muttersubstanz der (im Chlorophyllkorn entstehenden) Stärke sei, und dass dasselbe als das erste sichtbare Assimilationsproduct der Kohlensäure und des Wassers anzusehen wäre.

Meine Gedanken über die Art und Weise, wie die thatsächliche Begründung dieser Anschauung geschehen könnte, hatten kein anderes Ergebniss, als dass sie mich zu Versuchen über die in diesem Capitel gestellte Frage anregten.

[1]) Sitzungsberichte der naturforschenden Gesellschaft zu Leipzig 17. Dec. 1875, pag. 117. Ausführlicher spricht sich Sachsse hierüber in einem eben erschienenen Buche: „Die Chemie und Physiologie der Farbstoffe etc." Leipzig 1877 aus, auf welches ich leider nicht mehr Rücksicht nehmen konnte.

Sollte die Frage auf Grund der Experimente bejaht werden können, genauer gesagt, sollte es sich herausstellen, dass zur Chlorophyllbildung etiolirter Keimlinge Kohlensäure erforderlich sei, so wäre daraus nur zu folgern, dass das Etiolin, welches nach meinen Untersuchungen jenes chemische Individuum ist, aus welchem das Chlorophyll hervorgeht [1]), beim Ergrünen mit dem Etiolin unter dem Einflusse des Lichtes in einen chemischen Process eintritt, welcher zur Entstehung des Chlorophylls führt.

Ueber den Einfluss der Kohlensäure auf die Entstehung des Chlorophylls liegen bloss die Beobachtungen Böhm's [2]) vor, welche lehren, dass ein Gehalt der Atmosphäre, in welcher sich etiolirte Keimlinge befinden, von 2 Proc. Kohlensäure und mehr schon störend auf die Chlorophyllbildung derselben wirkt. Man kann sich von dem störenden Einfluss grösserer Kohlensäuremengen auf das Ergrünen auch leicht überzeugen. Wenn man nämlich etiolirte aber ergrünungsfähige Keimlinge in einer kleinen und begrenzten Luftmenge, z. B. in einer mit Quecksilber abgesperrten Absorptionsröhre im Lichte und bei günstigen Temperatursverhältnissen sich entwickeln lässt, so bleibt der Process der Chlorophyllbildung schon in einem Zeitpunkte stehen, wenn noch reichlich Sauerstoff vorhanden ist; offenbar hindert die beim Keimen exhalirte Kohlensäure alsbald die weitere Chlorophyllbildung. Wird der Versuch hingegen in einer mit Kalilauge abgesperrten Absorptionsröhre vorgenommen, so schreitet, weil die ausgehauchte Kohlensäure von der Kalilauge rasch absorbirt wird, das Ergrünen viel weiter fort; ja bei hinreichend vorhandenem Sauerstoff tritt sogar völlig normales Ergrünen ein.

Die Thatsache, dass ein Gehalt von 2 Proc. Kohlensäure und mehr das Ergrünen hemmt oder gar unmöglich

---

[1]) Aus der Lectüre des genannten Buches Sachsse's entnehme ich, dass der genannte Forscher ebenfalls ein Hervorgehen des Chlorophylls etiolirter Keimlinge aus Etiolin annimmt. Experimentelle Belege hiefür hat er jedoch nicht beigebracht.

[2]) Berichte d. Wr. Akad. d. Wiss., Bd. 68, I. Abth. (1873).

macht, lässt indess noch nicht auf die Entbehrlichkeit dieses chemischen Individuums bei der Chlorophyllbildung schliessen. Denn wir wissen beispielsweise, dass auch die ergrünte Pflanze grössere Quantitäten von Kohlensäure nicht verträgt, wohl aber mit den minutiösen in der Atmosphäre vorkommenden Mengen dieses Gases (0·04 Proc.) in der Regel ihren ganzen Kohlenstoffbedarf (d. i. oft die Hälfte ihrer organischen Trockensubstanz) deckt.

Bei den Versuchen, die Frage zu lösen, ob die Kohlensäure direct zur Entstehung des Chlorophylls etiolirter Keimlinge nöthig ist, liess ich mich von folgendem Gedankengange leiten. Die keimende Pflanze giebt, so lange ihre Reservestoffe vorhalten, Kohlensäure in reichlicher Menge ab. Es ist nun von vornherein zum mindesten wahrscheinlich, dass der den keimenden Organismus beherrschende Oxydationsprocess vom Lichte unabhängig ist. Nimmt man dies einstweilen als richtig an, so frägt es sich weiter, wie gross die Kohlensäuremenge ist, welche unter sonst gleichen Umständen ein Keimling während des Ergrünens abgiebt und wie viel diese Menge in einer Zeit austrägt, in welcher die Chlorophyllbildung ausgeschlossen ist. Sind die Kohlensäuremengen, welche ein im Dunkeln befindlicher Keimling z. B. in einer Stunde abgiebt, so gross als das Quantum dieses Gases, welches er in derselben Zeit unter sonst ganz gleichen äusseren Verhältnissen bei einer Helligkeit aushaucht, welche wohl das Ergrünen, aber nicht die Sauerstoffausscheidung chlorophyllhaltiger Pflanzentheile ermöglicht; so würde daraus folgen, dass die Kohlensäure bei der Chlorophyllbildung nicht betheiligt ist. Fiele aber die während des Ergrünens exhalirte Kohlensäuremenge geringer als die von der dunkel gestellten Pflanze abgegebene aus, so müsste unter der oben gemachten Voraussetzung gefolgert werden, dass zur Chlorophyllbildung Kohlensäure nöthig ist.

Ich gehe zur Darlegung meiner diesbezüglichen Versuche über. Um die Menge der während und bei Ausschluss des Ergrünens von den Keimlingen abgegebenen Kohlensäuremengen kennen zu lernen, ging ich nach zwei verschiedenen

Methoden vor, indem ich die Kohlensäure entweder gasometrisch oder durch Wägung bestimmte.

Gasometrische Untersuchung. Frische, etiolirte Keimlinge wurden in Absorptionsröhren eingeführt, letztere mit dem offenen Ende in Kalilauge getaucht, durch Quecksilber abgesperrt und aus dem Stande des oberen Flüssigkeitsniveaus, unter Berücksichtigung des äusseren und inneren Luftdruckes, der Temperatur und der Tension des Wasserdampfes auf die von den Versuchspflänzchen abgegebenen Kohlensäuremengen geschlossen.

Die von der Kalilauge absorbirte Gasmenge entspricht dem Volumen der von den Keimlingen abgegebenen Kohlensäure. Ist der aus der Absorptionsröhre stammende von den Pflänzchen verschluckte Sauerstoff bloss zur Bildung von Kohlensäure verwendet worden, so entspricht das von der Kalilauge absorbirte Gasvolum gleichzeitig auch dem Volum des verbrauchten Sauerstoffes. Ich abstrahire aus den folgenden gasometrischen Versuchen bloss die von den Keimlingen exhalirte Kohlensäure, nicht aber das verbrauchte Sauerstoffquantum, indem möglicherweise die Keimlinge unter den Versuchsbedingungen auch Gase abschieden, welche von Kalilauge nicht absorbirt werden.

Zum Versuche dienten die für gasanalytische Zwecke gewöhnlich benützten Absorptionsröhren. Ihre Länge betrug 200—250 Millim., ihr Volum 40—60 Cub.-Cent. Sie waren mit genauer, eingeätzter Millimetertheilung versehen. Wie es bei gasometrischen Untersuchungen üblich ist, so wurde auch bei den meinen keine directe Bestimmung der Gasvolumina vorgenommen, sondern direct nur die Höhe der Luftsäule in der Röhre gemessen, nachdem, um die durch ungleiche Weite der letzteren bedingte fehlerhafte Volumsermittlung zu umgehen, eine genaue Calibration der Absorptionsröhre vorgenommen wurde.

Es wurde dabei strenge nach der von Bunsen[1]) angegebenen Methode vorgegangen, die corrigirten Werthe

[1]) Gasometrische Methoden. pag. 31 ffd.

der Theilung tabellarisch zusammengestellt und den durch die directe Beobachtung ermittelten substituirt.

Die Keimlinge wurden in den oberen (geschlossenen) Theil der Absorptionsröhre eingeschoben, nachdem ihre Wurzeln vorerst mit einem kleinen Stückchen feuchten Filterpapier vorsichtig umhüllt und das Volum sowohl der Pflänzchen als des benützten Filterpapiers bestimmt worden war. Die Volumsbestimmung erfolgte durch Eintauchen der für den Versuch adaptirten Pflänzchen in eine die betreffende Absorptionsröhre etwa zur Hälfte füllende genau gemessene Wasserschichte. Es ist selbstverständlich, dass vor der definitiven Einführung der Versuchspflänzchen dieselben von dem überflüssigen adhärirenden Wasser durch Filterpapier befreit wurden und die Röhre möglichst getrocknet wurde.

Die zur Absorption der Kohlensäure benützte Kalilauge hatte bei 20° C. genau ein specifisches Gewicht von 1·5.

Die mit den Versuchspflänzchen versehene Absorptionsröhre wurde mit dem offenen Ende in eine von Kalilauge bedeckte Quecksilberschichte eingetaucht und durch Aussaugen die beiden Flüssigkeiten in den unteren Theil der Röhre eintreten gelassen. Im Beginne des Versuches wurde das äussere und innere Quecksilberniveau gleichgestellt, so dass das in der Absorptionsröhre befindliche Gas unter einem Drucke stand, welcher gleich war dem herrschenden Barometerstande, weniger dem Drucke der über dem Quecksilber in der Röhre stehenden Säule der Kalilauge. Die Röhre wurde genau vertical gestellt und fixirt. Die Ablesung des Standes der Kalilauge wurde stets erst vorgenommen, nachdem der Apparat zum mindesten eine halbe Stunde in constanter Temperatur sich befand. Zur Temperaturbestimmung diente ein in $^1/_{10}$° C. getheiltes Thermometer, welches in die Quecksilberschichte des Apparates — natürlich ausserhalb der Absorptionsröhre — eintauchte.

Jeder Versuch dauerte gewöhnlich 12 Stunden, innerhalb welcher Zeit in gleichen Intervallen 4mal abgelesen wurde, also die Beobachtungselemente für 3 Kohlensäurebestimmungen vorlagen.

Einzelne Versuche änderte ich in der Weise ab, dass ich die mit den Keimlingen versehene Absorptionsröhre über Quecksilber aufstellte und die Absorption der Kohlensäure durch eine weiche gegossene Kalikugel vornahm, die nach der ersten Ablesung mittelst eines Platindrahtes in die Absorptionsröhre eingeführt, aber vor der nächsten Ablesung wieder aus der Röhre entfernt wurde. Diese Versuchsabänderung hatte den Zweck, auch die Versuchspflanze aus der Röhre beseitigen zu können, behufs vollständiger Absorption der Kohlensäure. Da aber im Wesentlichen die gleichen Resultate wie bei der zuerst mitgetheilten Experimentirweise zustandekamen, so wurde in der Regel nach letzterer vorgegangen.

Um den Gang meiner Versuche zu veranschaulichen, will ich einen derselben genauer beschreiben. Die Resultate der übrigen werde ich dann summarisch zusammenfassen. Ich bemerke nur noch früher, dass meine Versuche vom Standpunkte der Gasometrie nicht völlig fehlerfrei sind und zwar weil an den Keimlingen und an dem zur Umhüllung der Wurzeln dienenden Papier etwas mehr Wasser haftete, als zur Herstellung des absolut feuchten Raumes in der Absorptionsröhre nothwendig war und mithin ein kleines Quantum von Kohlensäure von dem überschüssigen Wasser zurückgehalten werden musste; ferner weil die Pflänzchen während des ganzen Versuchs continuirlich Kohlensäure abgaben, mithin eine vollständige Absorption derselben durch die Kalilauge nicht eintreten konnte. Wie aber die Versuche mit der Kalikugel lehrten, ist bei der langen Dauer, die zwischen je zwei Kohlensäurebestimmungen verstrich, der entstehende Fehler doch so klein, dass er für den angestrebten Zweck der Experimente nicht in Betracht kömmt. Eine grössere als die durch meine Versuche erreichte Genauigkeit wollte ich meinen Versuchen nicht geben; es handelte sich ja nicht darum, die ausgehauchte Kohlensäuremenge genau quantitativ zu bestimmen, sondern nur darum, festzustellen, ob die von den Keimlingen im Lichte abgegebenen Kohlensäuremengen messbar geringer sind als die im Finstern von denselben exhalirten.

In dem zu beschreibenden Versuche wurde eine Absorptionsröhre benützt, welche 52·5 Cub.-Cent. fasste; ihre Länge betrug 205 Millim. Die für diese Röhre berechnete Calibrationstabelle mitzutheilen dürfte wohl überflüssig sein, und ich bemerke nur, dass die unten angeführten, in die Berechnung einbezogenen Werthe nicht die unmittelbare Beobachtung des Standes der Flüssigkeitsäule beziffern, sondern schon die der Tabelle entnommenen corrigirten Zahlen repräsentiren.

Das Volum der in die Absorptionsröhre eingeführten Pflänzchen — 4 etiolirte Gerstenkeimlinge, deren Blätter die Scheiden um etwa 1 Centim. überragten — sammt Filterpapier betrug 7·2 Vol. Millim.

Nach theilweiser Aussaugung der Luft aus der Absorptionsröhre stand das äussere Quecksilberniveau in gleicher Höhe mit dem innern, die Kalilauge in der Röhre aber 20 Millim. über dem Quecksilber.

Nach Verticalstellung und Fixirung der Röhre wurde verdunkelt, eine halbe Stunde bei constanter Temperatur stehen gelassen und dann die erste Ablesung gemacht.

Es wurden hierauf jene Beobachtungselemente festgestellt, welche nöthig sind, um Gasmengen auf eine bestimmte Temperatur, einen bestimmten Feuchtigkeitsgrad und einen bestimmten Barometerstand — behufs Vergleichung mit den folgenden Beobachtungen — reduciren zu können. Es erfolgte diese Umrechnung nach der von Bunsen[1]) angegebenen Formel

$$v_1 = \frac{v\,(b - b_1 - b_2)}{1 + 0{\cdot}00366\,t^0}$$

in welcher v das beobachtete Gasvolum, b den Barometerstand, b_1 den Stand des Quecksilbers in der Absorptionsröhre[2]), b_2 die Tension des Wasserdampfes bei der Tempe-

---

[1]) l, c., pag. 42. Die Meniscus-Correction blieb unberücksichtigt, da meine Versuche bloss die Feststellung von Volumdifferenzen bezweckten.

[2]) Da in meiner Absorptionsröhre über dem Quecksilber eine Schichte von Kalilauge stand, so musste zu der etwa vorhandenen Queck-

ratur t^0 bedeutet, und durch welche das Gasvolum auf den Zustand der Trockenheit, einen Barometerstand von 1 Meter und eine Temperatur von 0^0 reducirt wird.

Hier folgen die Beobachtungselemente des ersten Versuchs.

v = 165·2—7·2 Vol. Millim.
b = 720 Millim.
t = 18·3° C.
b_2 = 15·65 Millim.
H = Höhe der Kalisäule = 20 Millim.; mithin
b_1 = 2·22 Millim.

Es lautet deshalb die substituirte Formel:

$$v_1 = \frac{158\ (0{\cdot}720 - 0{\cdot}00222 - 0{\cdot}01565)}{1{\cdot}06697} = 103{\cdot}95$$

d. h. im Beginne des Versuches betrug das Volum des in der Absorptionsröhre befindlichen Gases 103·95 Vol. Millim.

Nun wurde der Apparat wieder verdunkelt und genau nach drei Stunden wieder abgelesen. Ich fand:

v = 161·2—7·2 Vol. Millim.
t = 17·4° C.
b = 720 Millim.
b_1 = 0·344 Millim.
b_2 = 14·79 Millim.

Es ist mithin

$$v_1 = \frac{154\ (0{\cdot}720 - 0{\cdot}00344 - 0{\cdot}01479)}{1{\cdot}063684} = 101{\cdot}60$$

Nach dreistündigem Verweilen im Finstern hatten die Versuchpflänzchen mithin 103·95—101·60 = 2·35 Vol. Millim. Kohlensäure abgegeben.

Der Apparat wurde nun für drei Stunden dem Gaslichte ausgesetzt. Die Entfernung zwischen Flamme und den Versuchspflänzchen betrug 2 Meter. Die Flamme brannte unter einem Drucke von 13·5 Millim. mit einer Leuchtkraft

---

silbersäule noch die auf Quecksilber reducirte Höhe der Kalilauge addirt werden. Da das spec. Gewicht der benützten Kalilauge stets gleich 1·5 war, so wurde die der Kalisäule entsprechende Quecksilbersäule stets rasch gefunden; es brauchte die Höhe der ersteren bloss mit $\frac{1{\cdot}5}{13{\cdot}5} = 0{\cdot}111$ multiplicirt zu werden.

von 6·5 Walrathkerzen. Diese Helligkeit reichte zum Ergrünen völlig aus, war aber, wie nebenher angestellte Versuche (mit *Elodea canadensis*, welche in kohlensäurehaltigem Wasser derselben Beleuchtung ausgesetzt wurde) lehrten, zu gering zur Sauerstoffausscheidung durch grüne Pflanzentheile. Während des Versuches ergrünten die Pflänzchen lebhaft, hatten aber bloss 1·70 Vol. Millim. Kohlensäure ausgehaucht.

Durch drei Stunden im Dunkeln belassen, gaben die Pflänzchen 1·99 Vol. Millim. Kohlensäure ab.

Ein in derselben Weise ausgeführter Versuch, bei welchem die Abänderung getroffen wurde, dass der Apparat zuerst im Lichte (diffuses Tageslicht), dann im Dunkeln und dann wieder im Lichte stand, und zwar durch je drei Stunden, gab folgendes Resultat:

Im Lichte 0·84 Vol. Millim. ausgehauchte Kohlensäure
Im Finstern 1·27 „ „ „ „
Im Lichte 0·75 „ „ „ „

Es wurden im Ganzen 27 Versuche gemacht, 3 blos im Finstern und 24, in welchen die Keimlinge abwechselnd im Lichte (Gaslicht oder diffuses Licht von einer Helligkeit, welche wohl zur Chlorophyllbildung, nicht aber zur Sauerstoffausscheidung aus grünen Pflanzentheilen hinreichte) und im Finstern sich befanden.

Die drei ersten Versuche lehrten, dass die Keimlinge eine continuirliche, aber geringe Abnahme in der Kohlensäureentwicklung zeigten.

Von den 24 übrigen Versuchen gaben 19 eine verminderte Kohlensäureentwicklung im Lichte. In fünf Versuchen war die Menge der abgegebenen Kohlensäure im Lichte und Dunkel die gleiche oder es wurde im Lichte sogar etwas mehr Kohlensäure abgegeben als im Dunkeln. Dieses widersprechende Resultat dürfte wohl seinen Grund in einem abnormen Zustand der Pflänzchen gehabt haben, wie ein solcher bei Versuchen mit Keimlingen nicht selten vorkömmt.

Zum Versuche dienten Keimlinge von Gerste, Mais und Rettig. Das Verhältniss der beim Ergrünen und im Dunkeln abgegebenen Kohlensäure schwankte zwischen 1 : 1·2 und 1 : 3·7.

Auch anscheinend völlig ergrünte Keimlinge gaben im Lichte weniger Kohlensäure ab, als im Finstern.

In sehr schwachem diffusen Tageslichte, in welchem innerhalb der Versuchszeit (9 Stunden) kein für das Auge erkennbares Ergrünen eintrat, verhielten sich die Keimlinge wie im Dunkeln.

Die vorstehenden Versuche führte ich gemeinschaftlich mit Herrn Mikosch aus.

Bestimmung der Kohlensäure durch Wägung.

Zu diesen Versuchen diente ein zur Aufnahme der Versuchspflänzchen bestimmter Kolben, von etwa 1 Liter Rauminhalt, ein Liebig'scher Kaliapparat zur Absorption der von den Keimlingen abgegebenen Kohlensäure, mehrere Apparate zur Absorption von Wasserdampf, endlich ein Aspirator.

Der Kolben war mit einem doppelt durchbohrten Pfropfen versehen, welcher zwei rechtwinkelig gebohrte Glasröhren durchliess, von denen die eine zur Zuleitung der Luft, die andere zur Ableitung der Gase nach dem Kaliapparat hin bestimmt war. Die in den Kolben eintretende Luft ging durch eine mit Kalilauge versehene Waschflasche hindurch; es konnte somit zu den Keimlingen nur kohlensäurefreie Luft gelangen. An das nach dem Kaliapparat hin gerichtete Glasrohr schlossen sich mehrere U-förmig gestaltete Chlorcalciumapparate an, hierauf folgte der Kaliapparat, sodann eine U-förmige Röhre, welche mit concentrirter Schwefelsäure getränkten Bimsstein enthielt, ferner ein Chlorcalciumrohr und endlich der Aspirator.

Der Apparat schloss vollkommen luftdicht. Beim Oeffnen des Aspirators zog ein continuirlicher Luftstrom durch, dessen Geschwindigkeit an dem Durchtritt der Luftblasen durch die Waschflasche und den Kaliapparat erkannt und hienach geregelt werden konnte.

Es wurde dafür Sorge getragen, dass die Luft langsam und gleichmässig durch den Apparat strich, um eine möglichst vollständige Absorption der Kohlensäure und der Wasserdämpfe zu ermöglichen und die Zusammensetzung der die Keimlinge umgebenden Luft möglichst constant zu erhalten.

Die Kohlensäure trat völlig getrocknet in den Kaliapparat ein und die von diesem etwa abströmenden Wasserdämpfe wurden in dem Rohre, welches den mit Schwefelsäure getränkten Bimsstein enthielt, zurückgehalten. Da letzterer gegen den Aspirator hin durch ein Chlorcalciumrohr geschützt war, so konnte durch die Wägung des Kaliapparates und der Bimssteinröhre sofort die abgegebene Kohlensäuremenge bestimmt werden.

Beide Apparate wurden, selbstverständlich luftdicht geschlossen, gleichzeitig auf die Wage gebracht; die Gewichtszunahme beider entsprach direct der absorbirten Kohlensäure.

Während des Versuches befanden sich die vom Kolben umschlossenen Pflänzchen abwechselnd im Lichte und im Finstern. 3—5 Stunden wurden die Pflänzchen licht, beziehungsweise dunkel gehalten, hierauf eine Wägung vorgenommen, dann dunkel, beziehungsweise licht gestellt, gewogen u. s. f. Die Beleuchtungsverhältnisse waren genau dieselben, wie bei den gasometrischen Versuchen.

Benützt wurden etiolirte Keimlinge von Gerste, Mais und Rettig. Das Lebendgewicht der in einem Versuche verwendeten Pflänzchen betrug 10—15 Grm.

Da normale Keimlinge, welche unter constanten äusseren Verhältnissen im Finstern sich befinden, in gleichen Zeitabschnitten nicht constante, sondern je nach der Menge der disponiblen Reservestoffe eine regelmässige und langsame Zu- oder Abnahme der Kohlensäureexhalation aufweisen, so konnte aus zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Versuchen, von denen der eine im Finstern, der andere im Lichte oder umgekehrt vorgenommen wurde, schon auf den Einfluss geschlossen werden, welchen Licht und Dunkel auf die Kohlensäureabgabe äussern.

Es wurden im Ganzen 18 Versuchsreihen durchgeführt.

Von diesen ergaben 14 grössere Werthe für die im Dunkeln abgegebene Kohlensäuremenge im Vergleiche zu dem im Lichte exhalirten Quantum (die Differenz betrug 8 bis 25 Percente). In vier Versuchen trat dieses Verhältniss entweder nicht klar hervor oder es stellten sich die Werthe

sogar umgekehrt. Der Grund der widersprechenden Resultate dürfte wohl eher in nicht normalem Zustande der verwendeten Keimlinge, welcher Unregelmässigkeiten im Gang der Kohlensäureentwicklung verursacht haben mochte, als in Versuchsfehlern zu suchen sein. Indess will ich die Möglichkeit der letzteren nicht ausschliessen; es wird billigerweise auch zugestanden werden, dass bei der Vornahme von 18 Versuchsreihen, von denen jede 10—14 Stunden in Anspruch nahm, und die der Experimentator nicht fortwährend im Auge behalten kann, einzelne irrthümliche Bestimmungen sich einschleichen können. Die positiven Resultate der erstgenannten 14 Versuchsreihen dürften indess einen Schluss auf die von den Keimlingen im Lichte und im Dunkeln abgegebenen Kohlensäuremengen um so eher zulassen, als selbe im Grunde dasselbe lehren, als die oben mitgetheilten Ergebnisse der gasometrischen Untersuchung.

Da ich durch meine Versuche nicht beabsichtigte, die bei Ausschluss und bei Gegenwart der Chlorophyllbildung exhalirten Kohlensäuremengen quantitativ festzustellen, sondern mich damit begnüge, zu zeigen, dass die ergrünenden Keimlinge relativ weniger Kohlensäure aushauchen, als die dunkel gehaltenen, so dürften die oben summarisch mitgetheilten Zahlen genügen. Ein Beispiel möge indess den Gang der Versuche veranschaulichen.

Versuchspflanze: etiolirte Gerstenkeimlinge.

Lebendgewicht der Versuchspflänzchen 13·57 Gramm.

Temperatur: 17·5—18·7° C.

Versuchszeit	Beleuchtung	Abgegebene Kohlensäuremengen	Bemerkungen
8h a. m.—11h a. m.	Finster	24 Mgr.	—
11h a. m.— 2h p. m.	Schwaches diffuses Licht	22 „	Merkliches Ergrünen.
2h p. m.— 5h p. m.	Finster	26 „	—
5h p. m.— 8h p. m.	Gaslicht	21 „	Lebhaftes Ergrünen.

Aus den mitgetheilten gasometrischen und Gewichtsbestimmungen der Kohlensäure geht hervor, dass bei Helligkeiten, welche das Ergrünen, nicht aber die

Sauerstoffausscheidung aus ergrünenden Pflanzentheilen ermöglichen, etiolirte Keimlinge im Dunkeln mehr Kohlensäure ausscheiden, als im Lichte während der Chlorophyllbildung.

Diese Thatsache ist, so viel mir bekannt, neu. Sie stimmt in ihrem äusseren Effecte mit dem lange bekannten Factum der starken Kohlensäureausscheidung grüner Pflanzentheile im Finstern und der schwachen Entwicklung dieses Gases seitens dieser Organe, wenn dieselben einem Lichte ausgesetzt werden, welches zur Assimilation in gewöhnlichem Sinne (Production organischer Substanz unter Ausscheidung von Sauerstoff) ausreicht, überein; aber im letzteren Falle hat die relativ geringe Entwicklung der Kohlensäure ihren Grund in der im Lichte vor sich gehenden Zerlegung der Kohlensäure unter Ausscheidung von Sauerstoff; in unseren Versuchen ist diese Art des Verbrauches der Kohlensäure, in Folge zu geringer Intensität des Lichtes ausgeschlossen.

Es ist schon oben (p. 101) angeführt worden, dass sich aus der verminderten Menge der beim Ergrünen ausgeschiedenen Kohlensäure ein Schluss auf die Betheiligung dieses chemischen Individuums bei der Chlorophyllbildung nur unter der Voraussetzung ziehen lässt, dass der die Keimlinge beherrschende Oxydationsprocess unabhängig vom Lichte ist, also unter sonst gleichen äusseren Bedingungen ein Keimling in einem bestimmten Entwicklungstadium und bei einer ganz bestimmten Menge disponibler Reservestoffe gleich viel Kohlensäure entwickelt, ob er im Dunkeln oder im Lichte sich befindet.

Diese Voraussetzung ist nun noch nicht bewiesen und ich habe auch den Weg nicht gefunden, um selbe thatsächlich zu begründen; desshalb will ich aus meinen Versuchen nur mit Vorsicht auf die directe Betheiligung der Kohlensäure bei der Entstehung des Chlorophylls schliessen, und dieselben zunächst nur als wahrscheinlich hingestellt wissen.

Es wäre ja denkbar, dass der Process der Oxydation, welcher einen im Dunkeln befindlichen Keimling beherrscht, im Lichte insoferne modificirt wird, als jene organischen

Substanzen, welche im Finstern bis zu Kohlensäure oxydirt werden, im Lichte zur Bildung des Chlorophylls Verwendung finden. Das organische zur Kohlensäurebildung disponible Materiale würde sich somit im Lichte vermindern. Selbst für das Etiolin (Xanthophyll), welches nach meinen oben mitgetheilten Untersuchungen diejenige Substanz ist, aus welcher das Chlorophyll unmittelbar hervorgeht, könnte dies gelten. Es könnte das Xanthophyll im Finstern zu Kohlensäure verbrennen, während es im Lichte — möglicherweise sogar durch Oxydation — in Chlorophyll umgewandelt wird. Ich würde darin keinen Widerspruch mit der Thatsache finden, dass das Xanthophyll im Dunkeln, und zwar reichlich — zweifellos aus den Reservestoffen — entsteht. So lange die letzteren vorhalten, wird es neu gebildet und von dem entstandenen wird möglicherweise ein Theil zerstört. Es würde die Zerstörung des Xanthophylls durch Oxydation auch im Einklange mit der Thatsache stehen, dass relativ alte etiolirte Keimlinge oder alte Theile derselben, im Lichte nicht mehr zum Ergrünen zu bringen sind. Es hat hier wohl den Anschein, dass nach dem Verbrauche der Reservestoffe das Etiolin und damit auch das unmittelbare Bildungsmateriale für das Chlorophyll schwindet[1]). Diese Thatsache lässt sich aber ungezwungen, auch mit der Annahme einer Entstehung des Chlorophylls aus Etiolin unter Mitwirkung von Kohlensäure vereinigen.

---

[1]) Maiskeimlinge, welche durch 25 Tage bei 14—16° C. in tiefer Dunkelheit vegetirten, zeigten nach dieser Zeit folgendes Verhalten. Die Höhe der völlig turgescenten Pflanzen betrug 25—30 Centimeter. Jeder Keimling hatte 4—5 lange bis 1·5 Centim. breite Blätter. Die untersten Blätter waren theils missfarbig, theils (an der Spitze) eingetrocknet, sie ergrünten nicht mehr. Die nächstfolgenden Blätter hatten ihre gelbe Farbe verloren und zeigten nunmehr eine weissliche Farbe; auch diese Blätter ergrünten nicht mehr. Die folgenden behielten ihre lebhafte gelbe Farbe bei. Sie ergrünten im Gaslichte noch (nach etwa 16stündiger Wirkung des Lichtes), aber nur mehr am mittleren bis unteren Theile. Nur die allerjüngsten kleinen Blättchen ergrünten bis auf die Spitze vollständig.

XI.

Zusammenfassung der Resultate und Schlussbemerkungen.

Die wichtigeren Resultate der mitgetheilten Untersuchungen lassen sich, wie folgt, zusammenfassen.

1. Das Chlorophyll geht aus dem Etiolin (Xanthophyll) hervor.

2. Sowohl das Chlorophyll als das Etiolin sind organische, eisenhaltige Verbindungen, in welchen das Eisen direct nicht nachweisbar ist.

3. Die Ausscheidung der Kohlensäure etiolirter Pflanzen ist im Dunkeln eine grössere als bei jenen Helligkeiten, welche wohl zur Chlorophyllbildung, nicht aber zur Ausscheidung von Sauerstoff aus grünen Pflanzentheilen ausreichen. Diese relativ geringe Kohlensäureausscheidung ergrünender Pflanzentheile macht eine directe Betheiligung der Kohlensäure bei der Entstehung des Chlorophylls im Lichte wahrscheinlich.

4. Die chlorophyllerzeugende Kraft des Lichtes beginnt erst im Roth zwischen den Fraunhofer'schen Linien *A* und *B*, genauer bezeichnet zwischen *a* und *B* und wohnt von hier an allen Strahlen des sichtbaren Spectrums inne; wahrscheinlich reicht sie auch in's Ultraviolett hinein. Den leuchtenden Strahlen des äussersten Roth und den dunklen Wärmestrahlen jener Intensität, welche die Lebensprocesse ergrünender Pflanzentheile nicht zu gefährden vermögen, kömmt direct nicht die Eignung, zur Entstehung des Chlorophylls zu führen, zu.

5. Die dunklen Wärmestrahlen können bei der Entstehung des Chlorophylls als *„rayons continuateurs“* im Sinne Becquerel's functioniren, d. h. sie haben das Vermögen, eine beginnende Wirkung desjenigen Lichtes, welches zur Chlorophyllerzeugung geeignet ist, fortzusetzen.

6. Bei der Entstehung des Chlorophylls im Lichte macht sich eine photochemische Induction geltend: das Chlorophyll

entsteht nicht sofort beim Beginne der Lichtwirkung, und auch im Dunkeln setzt sich die Wirkung des Lichtes bis zu einer bestimmten Grenze fort.

Es kann also unter gewissen Bedingungen das Chlorophyll der Angiospermen auch im Finstern sich bilden.

7. Das Vermögen des Lichtes, in leicht ergrünungsfähigen Organen die Entstehung des Chlorophylls zu bewerkstelligen erlischt für alle untersuchten Pflanzen bei demselben Minimum der Helligkeit, und nur in den Eigenthümlichkeiten der Organisation der Pflanzen (mit leicht ergrünungsfähigen Organen) ist es zu suchen, wenn dieselben zum Ergrünen höchst verschiedene Helligkeiten des äusseren Lichtes benöthigen.

8. Bei constanter Helligkeit ist die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung in folgender Weise von der Temperatur des umgebenden Mittels abhängig. Die Chlorophyllbildung hebt bei einem bestimmten Temperatursgrade an. Von diesem unteren Nullpunkte steigert sich die Geschwindigkeit des Ergrünens continuirlich bis zu einem bestimmten Maximum und sinkt von da ab continuirlich bis zum obern Nullpunkte der Chlorophyllbildung.

Die spectroskopische Prüfung mit Chlorophyll lehrte, dass das Chlorophyll innerhalb viel weiterer Temperaturgrenzen zur Entstehung kömmt, als bis jetzt angenommen wurde. —

Die Entstehung des Chlorophylls aus dem Etiolin ist an Finsterkeimlingen festgestellt worden. Mehrfache oben mitgetheilte Beobachtungen lassen es aber als gewiss annehmen, dass auch in anderen am Lichte sich normal entwickelnden Pflanzen die grüne Substanz aus dem Begleiter des Chlorophylls, dem Xanthophyll, welches wohl identisch mit dem Etiolin anzunehmen ist, hervorgeht.

Zweifellos haben auch Etiolin und Xanthophyll das Bildungsmateriale gemein. Woraus entsteht das Etiolin? Man kann diese Frage nicht anders als damit beantworten, dass die Reservestoffe der Samen die Quelle des Etiolin bilden. Und dass es unter den Reservestoffen in erster Linie

die Stärke und im Allgemeinen die Kohlenhydrate sind, welche das Materiale für das Etiolin hergeben, geht wohl aus der Wahrnehmung hervor, dass Keimlinge, welche aus ölreichen Samen sich entwickeln, erst mit dem Auftreten der Stärke Etiolin bilden.

Wir kommen also zu dem überraschenden Resultate, dass das Chlorophyll der Pflanze vorwiegend aus Stärke, und zwar durch das Zwischenglied des Etiolins oder des Xanthophylls hervorgeht. Dass die im Chlorophyllkorn bei der für die Assimilation nothwendigen Lichtintensität reichlich gebildete Stärke zum Theil, besonders im Dunkeln, in Xanthophyll umgewandelt wird, aus welchem Körper im Lichte Chlorophyll entsteht, scheint nach den an Keimlingen gewonnenen, die Beziehung des Etiolins zum Chlorophyll betreffenden Erfahrungen unbedenklich angenommen werden zu dürfen.

Dass das Chlorophyllkorn die Bildungsstätte der Stärke ist, letztere aber erst im ergrünten Korn entsteht und andererseits das Chlorophyll selbst aus Stärke hervorgeht, erscheint auf den ersten Blick widersinnig. Das Widersprechende in diesem Satze verschwindet aber, wenn man bedenkt, dass Chlorophyll und Chlorophyllkorn zwei verschiedene Dinge sind. Das Chlorophyll eines jugendlichen Kornes entsteht aus Reservestoffen; ist das Korn ergrünt, so kann in ihm Stärke entstehen, welche zum Theile wieder Bildungsmateriale für die Entstehung von Chlorophyll und zwar entweder desselben Kornes oder eines andern liefert.

Dass das Chlorophyll aus Kohlenhydraten, vorwiegend aus Stärke sich bildet, zum Entstehen dieser aber in der Regel jenes erforderlich ist, wurde von Sachsse, wie schon oben mitgetheilt wurde, in der Weise gedeutet, dass er das Chlorophyll als das erste sichtbare Assimilationsproduct ansieht und annimmt, dass hieraus durch weitere Reduction und Veränderungen die (im Chlorophyllkorn auftretende) Stärke entsteht. Nach seiner Auffassung ist also das Chlorophyll selbst die Muttersubstanz der Stärke. Letztere aber kann selbst wieder nach seiner Auffassung durch Oxydationsprocesse in Chlorophyll umgewandelt werden.

Die Berechtigung dieser Auffassung, welche uns, wie schon oben bemerkt, manche Erscheinung in ungezwungener Weise erklärt, soll nicht bestritten werden; nur möge, um ihren wahren Werth beurtheilen zu können, nicht ausser Acht bleiben, dass die directe genetische Beziehung zwischen Chlorophyll und Stärke, genau gesagt, das Hervorgehen der letzteren aus ersterem, noch unbewiesen ist.

Wir sind auch gar nicht gezwungen, die Sachsse'sche Auffassung als die einzige berechtigte anzunehmen.

Nach meiner Auffassung lässt sich die doppelte Beziehung des Chlorophylls zur Stärke — nämlich die Entstehung des Chlorophylls aus Stärke und die Bildung der letzteren unter Mitwirkung des ersteren — auch mit der oben (pag. 10—12) auseinander gesetzten, von Baeyer [1]) aufgestellten Hypothese über die Bedeutung des Chlorophylls bei der Assimilation in Einklang bringen. Aus der als Reservesubstanz auftretenden Stärke geht bei der Keimung das Etiolin hervor. Dasselbe wird im Lichte in Chlorophyll umgewandelt. In dem zur Assimilation nöthigen hellen Lichte vollzieht das Chlorophyll die Zerlegung der Kohlensäure und die schliessliche Bildung des Kohlenhydrates. Die erforderliche Neubildung des Chlorophylls im Chlorophyllkorn erfolgt durch Oxydation eines Theils der gebildeten Stärke, welche Xanthophyll erzeugt, aus dem im Lichte die grüne Substanz hervorgeht u. s. w.

Dass im Chlorophyllkorn eine Neubildung von Chlorophyll wenigstens zeitweilig stattfinden muss, geht aus den oben auseinander gesetzten Erscheinungen der Zerstörung des Chlorophylls im Lichte und im Finstern hervor.

Ob die eine oder die andere dieser beiden Auffassungen über die doppelte Beziehung des Chlorophylls zur Stärke die richtige ist, oder ob bei besserer Einsicht in die thatsächlichen Verhältnisse beide werden einer neuen weichen müssen, wird die Zukunft lehren. Immerhin aber dürften die Beobachtungen

[1]) In Sachsse's eben erschienenem, bereits oben (p. 99 Anmerkung) citirten, sonst so reichhaltigem und verdienstvollem Buche werden Baeyer's fruchtbare Ideen über die physiologische Bedeutung des Chlorophylls bei der Assimilation nicht namhaft gemacht.

und Ideen über die doppelte Beziehung des Chlorophylls zur Stärke, zu welchen Sachsse und, unabhängig von dem genannten Forscher auch ich gelangte, für die Aufklärung des Assimilationsprocesses sich als fruchtbringend erweisen.

Die oben mitgetheilten Untersuchungen über die Entstehung des Chlorophylls bezogen sich auf Angiospermen, und nur ein einziges — noch dazu negatives — Resultat auf den räthselhaften Process der Chlorophyllbildung in den Finsterkeimlingen der Coniferen.

In Betreff dieses Bildungsvorganges habe ich wohl mannigfaltige Versuche eingeleitet; ich war jedoch nicht so glücklich zu Thatsachen zu gelangen, welche die endgiltige Lösung der Frage möglich gemacht hätten. Was ich in den nachfolgenden Zeilen bringe, sind Beobachtungen, welche bloss zur genaueren Charakterisirung der Chlorophyllbildung in den Finsterkeimlingen der Coniferen dienen und bloss Anhaltspunkte zu bieten vermögen, wie etwa diese vom Lichte unabhängige Bildungsweise des Chlorophylls mit der gewöhnlichen Entstehungsweise dieses Körpers in Einklang zu bringen ist.

In den von mir untersuchten gereiften Samen der Coniferen ist Chlorophyll selbst nicht in Spuren, weder durch Fluorescenz noch spectroskopisch zu erweisen.

Auch verstecktes Chlorophyll, wie etwa in den Florideen und in *Neottia Nidus avis* ist nicht nachweisbar; ebenso fehlt Xanthophyll.

Zu diesen Versuchen diente von den Schalen befreiter Same von *Pinus silvestris*, *P. nigricans*, *P. Pinea*, *Abies excelsa* und *Thuya orientalis*.

Lässt man Samen von *Abies excelsa* oder *Pinus silvestris* bei 14—16° C. keimen, so kann man schon einige Tage vor dem Hervortreten des Würzelchens Etiolin im Samen nachweisen, welches zweifellos im Embryo vorkömmt. Derselbe nimmt auch alsbald eine deutlich wahrnehmbare gelbliche Farbe an. Nunmehr ist aber auch schon Chlorophyll spectroskopisch erweislich. Mit dem Hervortreten der Würzelchen

nehmen die übrigen Theile des Keimlings eine gelbgrünliche Farbe an.

Die ersten Spuren der Stärke finde ich in den Cotylen und im hypocotylen Stengelglied der Fichten-, Föhren- und Thuya-Keimlinge erst beim Hervortreten der Würzelchen, und erst beim weiteren Hervorwachsen der Keimlinge tritt selbe reichlich auf. Es scheint also die Stärke später als das Etiolin zu entstehen. Nach dem Verhalten der fetthaltigen Angiospermensamen beim Keimen zu urtheilen, ist aber das Entgegengesetzte anzunehmen. Die ersten Mengen von Stärke dürften sofort zu Etiolin oxydirt werden.

Ich habe an mehreren Coniferen die Beobachtung gemacht, dass im Finstern bei sonst ganz günstigen Keimungsbedingungen (bei einer Temperatur von 16—18° C. genügender Feuchtigkeit des Substrates etc.) ein Theil der ausgesäeten Samen mehr oder weniger vollständig etiolirt.

Von je 100 Keimlingen fand ich etiolirt: bei der Schwarzföhre 7, bei der Weissföhre 5, bei der Fichte 4, endlich bei *Thuya orientalis* 9. Die etiolirten Keimlinge der drei erstgenannten waren ganz blassgelb mit einem Stich in's grünliche, die der zuletztgenannten zeigten einen deutlicheren grünen Farbenton; hingegen hatten die etiolirten Keimlinge der Fichte eine rein gelbe Farbe und es konnte nicht einmal durch Fluorescenz oder spectroskopisch eine Spur von Chlorophyll in ihnen nachgewiesen werden [1]).

Im schwachen diffusen Tageslichte ergrünten diese etiolirten Keimlinge in einigen Stunden deutlich und verhielten sich bei der Weiterentwicklung völlig normal, während

[1]) Böhm hat über das Etiolement der Coniferenkeimlinge einige Beobachtungen veröffentlicht. (Sitzungsber. der Wiener Akad. der Wiss., Bd. 51, 20. April 1865). Er fand, dass bei relativ niederen Temperaturen die Keimlinge der Coniferen nicht ergrünen, z. B. *Pinus Pinea* nicht bei 5—7° R. Offenbar liegt hier das Temperaturminimum für die Chlorophyllbildung dieser Keimlinge höher als die angewendete Temperatur. Ein solches Etiolement in Folge niederer Temperatur (und im Lichte) findet aber, wie wir oben gesehen haben (pag. 95 ffd.) auch bei den Angiospermen statt. Weiter theilt der genannte Beobachter mit, dass unter allen Coniferen

sie im Finstern selbst bei einer Steigerung der Temperatur bis auf 24° C. ihre Färbung nicht änderten.

Die in den Finsterkeimlingen der Coniferen auftretenden Chlorophyllkörner lassen eine Grundlage erkennen, welche mit jener gewöhnlicher Chlorophyllkörner nicht übereinstimmt. Es ist allerdings richtig, dass die Chlorophyllkörner der Angiospermen im jugendlichen Zustande eine nur geringe Resistenz gegenüber der Wirkung des Wassers zeigen, so dass sie bald in demselben aufquellen und später häufig verfliessen. Eine so augenfällige Widerstandslosigkeit gegenüber der Wirkung des Wassers, wie eine solche mir bei den Chlorophyllkörnern eben ergrünender Coniferen - Finsterkeimlinge vorgekommen ist, habe ich indess an den Chlorophyllkörnern der Angiospermen nie beobachtet. Präparirt man die chlorophyllhaltigen Gewebe der Coniferen-Keimlinge im Wasser, so werden die Chlorophyllkörnchen sofort zerstört; hingegen erhalten sie sich sehr gut in fettem Oel. Es scheint als würde die organisirte Grundlage dieser Chlorophyllkörner substantiell mit dem Aleuron übereinstimmen.

Nach dem Wenigen was sich nunmehr über die Entstehung des Chlorophylls in den Finsterkeimlingen der Coniferen sagen lässt, ist es wohl unverkennbar, dass die Entstehung dieses Körpers hier in mehrfacher Beziehung mit jener gewöhnlicher im Lichte entstehender Chlorophyllkörner, manchmal (nämlich bei den unter günstigen äusseren Keimungsbedingungen etiolirenden Keimlingen) geradezu völlig übereinstimmt.

Die einfachste Erklärung der Chlorophyllbildung in den Finsterkeimlingen scheint mir folgende zu sein. Während der Keimung der Coniferensamen entwickelt sich neben dem Etiolin — aus welchem auch hier zweifellos das Chlorophyll

---

Larix europaea die einzige ist, welche im Dunkeln auch in der Wärme etiolirt, was durch die oben mitgetheilten Beobachtungen widerlegt wird. Was indess Böhm's Angabe, dass Finsterkeimlinge der Lärche auch in der Wärme etioliren, anlangt, so habe ich selbe schon vor Jahren bestätigt gefunden. Zur Erklärung des Ergrünens der Finsterkeimlinge hat Böhm die an der Lärche gemachten Beobachtungen nicht herangezogen.

hervorgeht — eine Substanz, welche in diesem jene chemische Veränderung hervorruft, die sonst durch die Wirkung des Lichtes vollzogen wird und die das Etiolin in Chlorophyll umbildet. Unterbleibt die Entstehung dieser fraglichen Substanz während des Keimungsprocesses, so ist das Etiolin, soll es in Chlorophyll umgewandelt werden, auf die Wirkung des Lichtes angewiesen. Dieser Fall findet bei den unter günstigen Keimungsbedingungen im Finstern etiolirenden Keimlingen der Coniferen statt. Weiter hergeholt, indess immerhin ebenfalls berechtigt, wäre die Annahme, dass in den normal ergrünenden Finsterkeimlingen eine besondere Modification des Etiolins vorkömmt, welche auch ohne Licht in Chlorophyll umgewandelt wird. Consequenterweise müsste aber dann weiter angenommen werden, dass die unter günstigen Keimungsbedingungen etiolirten Finsterkeimlinge die gewöhnliche (in den Angiospermen zur Ausbildung gelangende) Modification des Etiolins vor Entstehung des Chlorophylls erzeugen.

Druck von J. C. Fischer & Comp. in Wien.

MAY 2 7 1967
QK898
C5W5
1877

DATE DUE			

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004